Universidade de Aveiro Departamento de Engenharia Mecânica
2016

Fábio Silva Costa

OPM_5X: Optimização do processo de maquinagem de 5 eixos

Universidade de Aveiro Departamento de Engenharia Mecânica
2016

Fábio Silva Costa

OPM_5X: Optimização do processo de maquinagem de 5 eixos

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestrado em Engenharia Mecânica, realizada sob orientação científica de João Paulo Davim Tavares da Silva, Professor Associado com Agregação do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro.

O júri / The jury

Presidente / President	**Prof. Doutor António Manuel Godinho Completo** Professor Auxiliar com Agregação da Universidade de Aveiro
Vogais / Committee	**Prof. Doutor João Paulo Davim Tavares da Silva** Professor Associado com Agregação da Universidade de Aveiro
	Prof. Doutor Francisco José Gomes da Silva Professor Adjunto da Instituto Superior de Engenharia do Porto

Agradecimentos / Acknowledgements

Quero agradecer às pessoas que ao longo deste trabalho me incentivaram, apoiaram e me transmitiram as informações e conhecimentos necessários à sua elaboração. Ao Professor João Paulo Davim pelos conhecimentos transmitidos, pela sua análise critica e pela sua disponibilidade para as reuniões de trabalho. Ao Diretor de Produção da Simoldes Aços, meu co-orientador, Engenheiro António Pinho pela orientação, pelos conhecimentos e informações transmitidos acerca do processo de fabrico e fluxo de produção, indispensáveis à elaboração deste trabalho. Aos colegas do gabinete de CAM da Simoldes Aços pelos conhecimentos de equipamentos CNC e ferramentas transmitidos e pela sua participação no desenvolvimento deste trabalho. Também ao Diretor dos Recursos Humanos e ao Diretor Industrial, por terem possibilitado a elaboração deste trabalho. À minha família pelo acompanhamento do meu esforço ao longo deste percurso. Em especial aos meus pais, pelo apoio e incentivo incondicional e pelo seu esforço para que a conclusão desta etapa fosse possível.

Palavras-chave

Maquinagem 5 eixos; Maquinagem de postiços; Estratégias de aperto; Tempos de maquinagem.

Resumo

No presente trabalho é feito uma avaliação de qual a melhor estratégia de maquinagem a 5 eixos, em função da geometria do componente pretendido (postiço). São então comparadas estratégias de maquinagem a 5 eixos contínuos e 5 eixos posicionais, tendo como parâmetros de comparação o tempo de maquinagem e a qualidade do acabamento superficial do componente. Recorrendo a casos de estudo, é então estudado a influência das trajetórias de maquinagem nos tempos produtivos, bem como a influência dos dispositivos de fixação dos componentes. Estudou-se ainda a influência do sistema de fixação dos postiços de pequeno e médio porte, no acabamento superficial, na tolerância geométrica e dimensional, e de que forma é influenciado o número de apertos necessários para a maquinagem total dos devidos componentes. Conclui-se que para a maquinagem de postiços de pequeno e médio porte, a maquinagem a 5 eixos posicionais é melhor que a maquinagem a 5 eixos contínuos, à exceção do acabamento em contorno utilizando a estratégia *swarf*, embora esta estratégia esteja muito dependente da geometria do componente.

Keywords 5-axis machining; Machining of inserts; Tightening strategies; Machining times.

Abstract In the present work a quality evaluation of a better machining strategy with 5 axes is done, depending on the geometry of the desired component. The machining strategies are then compared to 5 continuous axes and 5 positional axes, having as comparison parameters the machining time and a surface finish quality of the component. Using case studies, the influence of the machining trajectories in the productive times is studied, as well as the influence of the fixation devices of the components. It was also studied the influence of the fixation system of the small and medium sized inserts, in the surface finish, in the geometric and dimensional tolerance, and in what way is influenced the number of tightenings necessary for the total machining of the due components. It can be concluded that for machining small and medium size inserts, machining at 5 positional axes is better than machining at 5 continuous axes, except for contour finishing using the swarf strategy, although this strategy is dependent on the geometry of the component.

Glossário

CAD *Computer-aided Design* (Desenho Assistido por Computador).

CAM *Computer-aided Manufacturing* (Fabrico Assistido por Computador).

CAE *Computer-aided Engineering* (Engemharia Assistida por Computador).

CNC *Computer Numerical Control* (Comando Numérico Computorizado).

NC *Numerical Comand* (Comando Numérico).

TCP *Tool Center Point* (Ponto central da ferramenta).

APT *Automatically programmed tool* (Ferramenta programada automaticamente).

V_c Velocidade de corte.

n Velocidade de rotação.

V_f Velocidade de avanço.

f avanço por dente.

z_n Número de dentes.

MRR Taxa de remoção de material.

a_p Profundidade de corte.

a_e Passo lateral.

R_{ta} Rugosidade média aritmética teórica.

a_z Avanço por dente.

r Raio de curvatura da ponta da ferramenta de corte.

rpm Rotação por minuto.

Conteúdo

Lista de Tabelas

Lista de Figuras

Parte I

Introdução

Capítulo 1

Introdução

1.1 Enquadramento

Os novos desafios tecnológicos provenientes do desenvolvimento da indústria automóvel, que apresenta produtos e componentes de complexidade cada vez maior, aliados às frequentes exigências de qualidade, são fatores que influenciam diretamente a indústria de moldes. Esta tem vindo a crescer e a consolidar a sua notoriedade no mercado internacional, impulsionada, quer pela procura externa, quer pelo conjunto de competências e capacidades produtivas que oferece aos seus clientes (Cefamol, 2015).

Atualmente, as empresas portuguesas de moldes encontram-se na vanguarda da utilização de máquinas-ferramentas de precisão inovadoras, controladas informaticamente, sendo vulgar a utilização de sistemas CAD/CAM/CAE na conceção e fabrico de moldes (Cefamol, 2015).

Assim, há a necessidade de introduzir tecnologias de 5 eixos nas empresas, de forma a otimizar o processo de fresagem quer pela elevada precisão, diminuição dos tempos de fabrico e eliminação de erros.

Esta tecnologia de 5 eixos é caraterizada pelos seus 5 graus de liberdade entre a ferramenta e a peça. Além dos três graus de liberdade de translação tradicionais, esta ainda possui dois eixos de rotação adicionais, tornando assim um processo de fresagem muito mais flexível.

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito de criar uma nova célula de maquinagem de postiços de pequeno e médio porte na Simoldes Aços. Esta nova célula de maquinagem irá incorporar dois equipamentos de fresagem CNC de alta velocidade com tecnologia 5 eixos contínuos.

A introdução desta tecnologia implica o estudo aprofundado dos meios e processos envolventes aos equipamentos, tais como ferramentas, sistemas de aperto e estratégias de maquinagem.

1.2 Objetivos

O objetivo principal deste trabalho é avaliar qual a melhor estratégia de maquinagem a ser usada na maquinagem a 5 eixos contínuos ou 5 eixos posicionais, em função da geometria do componente pretendido.

Como já referido anteriormente, trata-se da maquinagem de postiços de pequeno e

médio porte, ilustrado na Figura 1.1. Estes são elementos que dão a forma interna do produto, e apresentam as vantagens de poderem ser substituídos quando houver avaria nos mesmos sem que haja alterações nos demais componentes do molde.

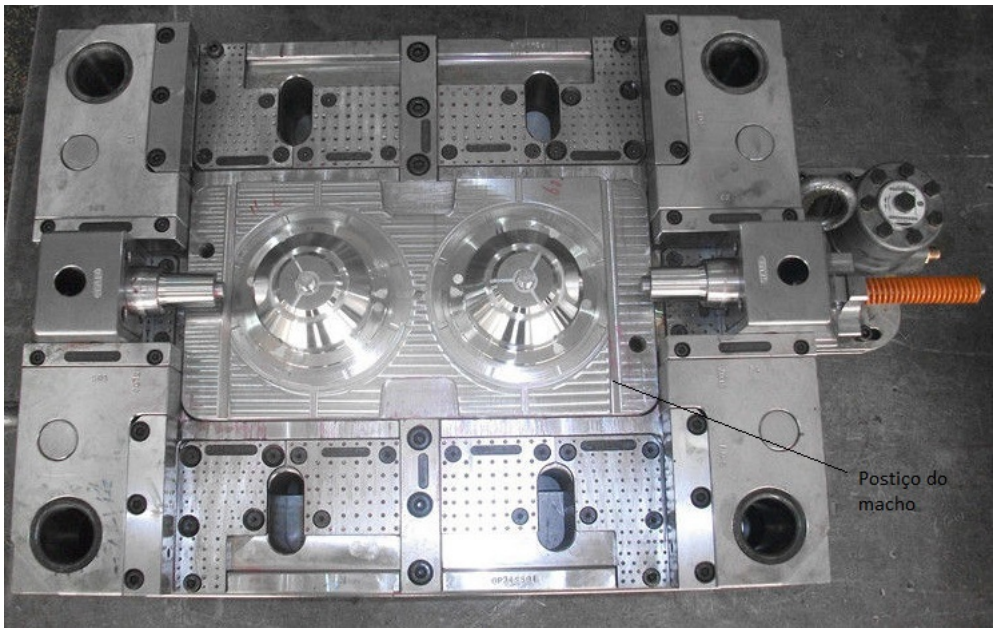


Figura 1.1: Postiço do macho.

Esta análise é feita tendo como alvo os seguintes objetivos:

- Estudar estratégias de maquinagem 5 eixos;
- Estudar estratégias de aperto das peças em máquinas de 5 eixos contínuos e posicionais;
- Identificar de ferramentas de corte;
- Medir do tempo de maquinagem.
- Definir o modelo do processo de maquinação 5 eixos;

Com base nos objetivos anteriormente enunciados, pretende-se assim avaliar a maquinagem a 5 eixos de postiços de pequeno e médio porte em aço DIN 1.2738, aço DIN 1.2343, aço DIN 1.2344 e ainda em Ampcoloy 944 (liga de cobre), com a melhor qualidade possível no menor tempo, de modo a tornar o processo mais rentável, reduzindo por sua vez custos de operação.

Assim, o presente trabalho propõe-se a demonstrar, em função da geometria do postiço, qual o melhor processo de maquinagem, ou seja, a 5 eixos contínuos ou a 5 eixos posicionais.

1.3 Guia de Leitura

O presente trabalho encontra-se dividido em cinco capítulos e está organizado da seguinte forma:

- No Capítulo 1 "Introdução"é efetuado um breve resumo e enquadramento ao presente trabalho.
- No Capítulo 2 "Revisão do estado de arte"são apresentados alguns trabalhos e resultados experimentais obtidos por diversos autores na maquinagem a 5 eixos posicionais e contínuos.
- No Capítulo 3 "Metodologia Experimental"é feita uma apresentação da metodologia de trabalho, da máquina CNC de 5 eixos de alta precisão, da seleção das ferramentas a equipar o carrossel da máquina em questão, do sistema de fixação dos postiços e todo o procedimento experimental dos casos de estudo.
- No Capítulo 4 "Resultados e Discussão"é feita uma apresentação, análise e discussão dos resultados obtidos, estando dispostos os tempos de maquinagem para cada caso de estudo e ainda uma análise do procedimento de maquinagem.
- No Capítulo 5 "Considerações Finais"são apresentadas as conclusões gerais do presente trabalho e apresentam-se também algumas propostas para trabalhos futuros.

Capítulo 2

Revisão do Estado da Arte

2.1 Maquinagem 5 eixos

É de grande importância que haja um desenvolvimento nos processos de fabrico, pois estes têm que ser capazes de cumprir as exigências impostas numa determinada peça a fabricar. Assim, dado que os centros de maquinagem convencionais deixam de cumprir alguns dos requisitos exigidos, torna-se necessário evoluir para centros de maquinagem com tecnologia 5 eixos.

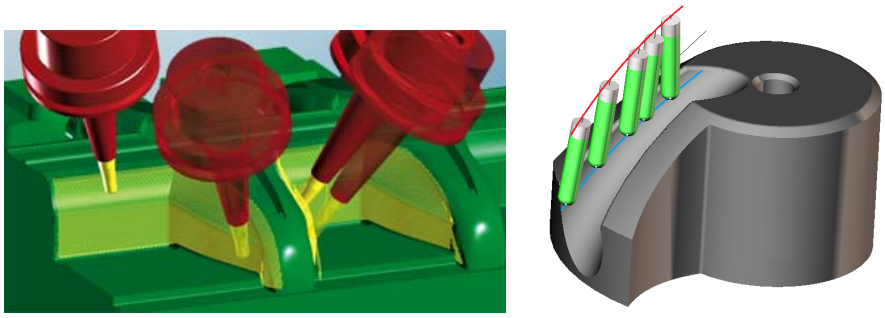
Os centros de maquinagem convencionais são aqueles que apresentam tecnologia 3 eixos, pois só apresentam liberdade de movimentos de translação paralelos aos três eixos cartesianos (XYZ), enquanto que os centros de maquinagem de 5 eixos apresentam cinco graus de liberdade de movimento entre ferramenta e peça. Para além dos três graus de liberdade de translação, estes possuem ainda mais dois eixos de rotação, que podem ser em torno de qualquer eixo linear.

Apesar de o primeiro registo do uso destas máquinas estar datado no início da década de 1950, esta tecnologia só começou a ter importância na década de 70 na indústria aeroespacial. Contudo, devido ao avanço tecnológico registado em algumas áreas, nomeadamente, no projeto e fabrico de equipamentos, nas ferramentas de corte e ainda nos *softwares* CAD/CAM, a indústria automóvel e a indústria de moldes acabaram por evoluir também para esta tecnologia.

A maquinagem 5 eixos pode ser realizada de duas formas, pois pode ser feita a 5 eixos posicionais, ou a 5 eixos contínuos. A diferença entre estes, encontra-se na utilização dos dois eixos de rotação, pois na maquinagem a 5 eixos posicionais, o quarto e quinto eixo de rotação são usados para orientar a ferramenta de corte numa posição fixa, em vez de manipular continuamente a ferramenta de corte, como se verifica na maquinagem a 5 eixos contínuos (Albert et al., 2006).

A figura 2.1 ilustra os dois tipos de maquinagem a 5 eixos, sendo que na figura 2.1a estão representadas as orientações necessárias que a ferramenta de corte deve tomar para que se possa maquinar esta determinada superfície, sendo que a figura 2.1b ilustra as trajetórias da ferramenta de corte, atendendo a que esta se vai orientando conforme a superfície a maquinar.

A maquinagem 5 eixos, face à maquinagem 3 eixos, apresenta uma maior flexibilidade, e no que diz respeito à maquinagem a 5 eixos posicionais, a principal vantagem reside em permitir a utilização de uma ferramenta de corte mais curta, logo mais rígida do



(a) Maquinagem a 5 eixos posicionais.

(b) Maquinagem a 5 eixos contínuos.

Figura 2.1: Maquinagem 5 eixos

que seria admissível com maquinagem convencional de 3 eixos. Com a utilização deste tipo de maquinagem, a cabeça da árvore da máquina pode-se aproximar muito mais da peça a trabalhar, estando a ferramenta de corte orientada face à superfície que se deseja maquinar. Por sua vez, usando uma ferramenta mais curta, é possível ter maiores velocidades de rotação e avanço, com menos deflexão da ferramenta. Isto significa que é possível ter um bom acabamento superficial e ainda ter tolerâncias dimensionais mais precisas num tempo de ciclo mais baixo (Albert et al., 2006).

Para peças complexas, por vezes, verifica-se que o número de orientações fixas que a ferramenta de corte tem que tomar, para que seja possível toda a maquinagem da peça, é elevada, o que significa, que irão ser geradas imensas trajetórias. Assim, por consequência, há um aumento dos movimentos de entrada e saída da ferramenta de corte na peça, o que leva a um aumento do tempo de maquinagem, a um desgaste mais acentuado na ferramenta e ainda a alguns problemas na qualidade superficial da peça (Endl et al., 2012).

A fim de ultrapassar alguns problemas na maquinagem a 5 eixos posicionais, tem-se desenvolvido e aprimorado estratégias para maquinagem a 5 eixos contínuos. Assim, consegue-se reduzir significativamente o tempo de maquinagem, pois segundo Roth et al., (2001), as trajetórias geradas para a maquinagem a 5 eixos contínuos, já mostraram uma redução em 85% no tempo de maquinagem. Alguma desta redução de tempo, deve-se ao facto de a maquinagem de uma peça ser feita continuamente, o que faz reduzir os movimentos de entrada e saída na peça, acabando também por melhorar o acabamento superficial da mesma. Este é melhorado, pois quando uma fresa de topo reto ou toroidal é inclinada, a geometria de contacto ferramenta-peça é modificada, o que não se aplica a fresas de topo esférico. Isto permite que a ferramenta se ajuste o melhor possível ao relevo da superfície maquinada, o que diminui o número de passagens requeridas por uma determinada operação e ainda a altura e densidade das cristas (Jun et al., 2003).

No entanto, a maquinagem a 5 eixos também apresenta algumas desvantagens, como por exemplo: maior risco de colisão entre a ferramenta de corte e a peça; programação e pós-processamento mais complexos, o que implica uma maior necessidade de conhecimento; e investimento elevado, pois é necessário adquirir novos centros de maquinagem, novos *softwares* CAM e ainda fornecer formação aos programadores e operadores (Tutunea-Fatan et al., 2004).

2.1.1 Centros de maquinagem 5 eixos

Os centros de maquinagem de 5 eixos são conhecidos por tornarem o processo de fresagem muito mais flexível, dado que estes são caracterizados pelos seus 5 graus de liberdade entre a ferramenta e a peça. Estes centros apresentam três eixos de translação e dois de rotação, sendo que os eixos de rotação, A, B ou C são instalados em torno de dois eixos lineares, X, Y e Z, como ilustra a figura 2.2.

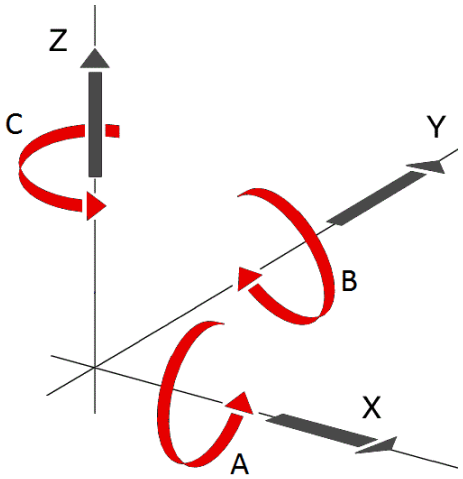


Figura 2.2: Orientação dos eixos lineares (XYZ) e rotacionais (ABC).

De acordo com a disposição dos eixos de rotação, os centros de maquinagem de 5 eixos podem ser divididos em 3 tipos:

(1) dois eixos de rotação dispostos no *spindle*;

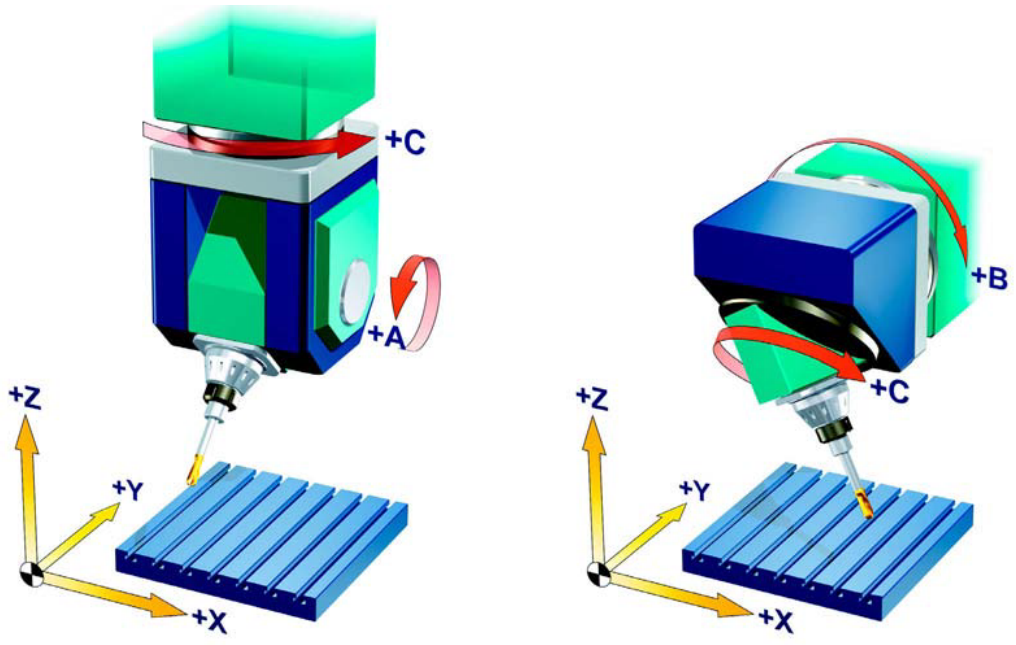
(2) dois eixos de rotação dispostos na mesa;

(3) um eixo de rotação disposto na mesa e um eixo de rotação disposto no *spindle*.

Os centros de maquinagem de 5 eixos, em que os dois eixos de rotação estão dispostos no *spindle* da máquina, como ilustrado na figura 2.3, são os mais apropriados para a maquinagem de peças grandes e pesadas, uma vez que a mesa é fixa. No entanto, derivado à complexidade que estes apresentam no *spindle*, acabam por perder rigidez (Junga et al., 2002).

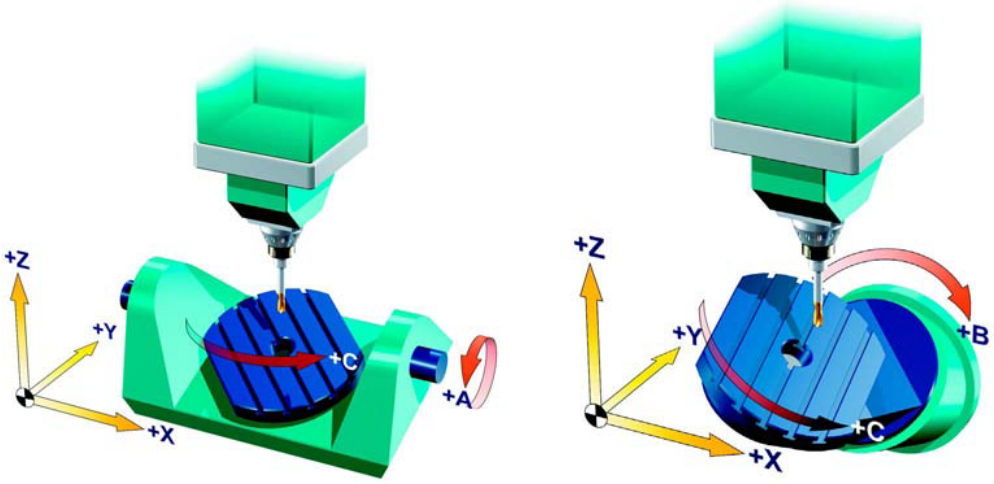
Quando os dois eixos de rotação passam a estar dispostos na mesa da máquina (figura 2.4), há uma maior precisão na maquinagem de formas circulares e contornos em torno do eixo C (Junga et al., 2002). Este tipo de centros de maquinagem são preferidos para a maquinação de peças de pequenas e médias dimensões, dado que o binário necessário para a rotação e inclinação da mesa são limitados. Assim, estas máquinas são conhecidas por terem maior rigidez no *spindle*, e por serem as mais económicas.

Por último, na figura 2.5 está representado mais um tipo de centro de maquinagem 5 eixos. Este dispõe de um eixo de rotação no *spindle* da máquina e de um outro eixo de rotação na mesa da mesma. Estes equipamentos são pouco usuais, mas tem a particularidade de favorecerem a maquinagem de peças cilíndricas, quando estas apresentam furos inclinados na sua periferia (Junga et al., 2002).



(a) *Fork Axis.* (b) *Nutated Axis.*

Figura 2.3: Centro de maquinagem em função dos eixos de rotação do tipo 1 SIEMENS AG (2007).



(a) *Rotate/Swivel.* (b) *Nutated Axis.*

Figura 2.4: Centro de maquinagem em função dos eixos de rotação do tipo 2 SIEMENS AG (2007).

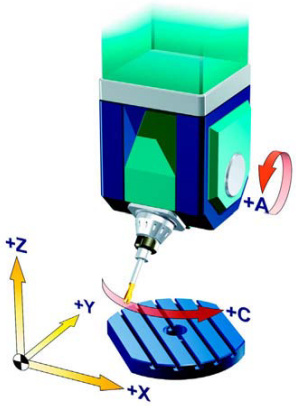


Figura 2.5: Centro de maquinagem em função dos eixos de rotação do tipo 3 SIEMENS AG (2007).

No entanto, como alternativa às máquinas de cinemática em série, surgiram no início dos anos 90, um novo conceito de máquinas-ferramentas. Nestas, foi introduzido um novo conceito de cinemática, denominada por cinemática paralela.

O mecanismo de cinemática paralela, consiste em ligar a extremidade atuante à base, por meio de pelo menos duas cadeias cinemáticas independentes (Merlet et al., 2006).

Assim, esta tecnologia permite que os eixos lineares X, Y e Z sejam executados por três ou mais eixos paralelos, apresentando uma enorme rigidez e precisão, com muitos mais graus de liberdade que as atuais CNC.

2.2 Programação CAD/CAM na maquinagem 5 eixos

A maquinagem 5 eixos de peças complexas é inconcebível sem o auxílio de sistemas computacionais, ou seja, recorre-se a *softwares* CAD/CAM para a fabrico de um componente.

A figura 2.6, ilustra as etapas de maquinagem de um componente, começando pela definição do modelo CAD, passando detalhadamente pela programação CAM e acabando na maquinagem do componente em questão.

A primeira etapa de maquinagem de uma peça é a sua modelação em CAD. O ficheiro gerado pelo *software* CAD é então importado pelo programador para o CAM, onde se procede à programação das operações de maquinagem, gerando assim os programas NC. Por fim, estes são enviados para o comando numérico computorizado (CNC) da máquina, para que a maquinagem ocorra através de sua execução.

O processamento das informações no CAM está dividido em três etapas, conforme representado na figura 2.6, que corresponde à programação das operações de maquinagem, tanto seja operações de desbaste, semi-acabamento e acabamento, à simulação virtual do processo e ao pós processamento.

Após a definição da sequência de operações, fixação da peça e ferramentas a serem usadas, o programador gera então as trajetórias da ferramenta e define os parâmetros de corte. A etapa de simulação que se segue, serve para validar as trajetórias e garantir a segurança de processo. Se estas não se mostrarem satisfatórias, devem ser reconsideradas, alteradas e geradas novamente. Aquelas que atendem às expectativas, são então

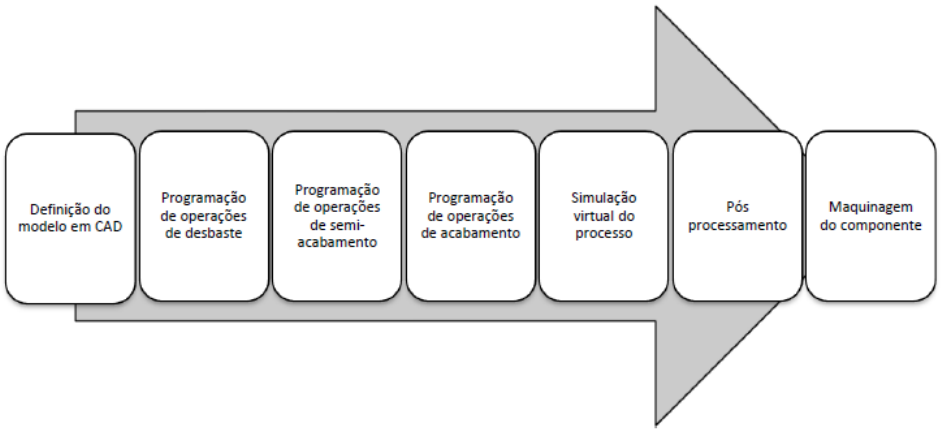


Figura 2.6: Procedimento da programação CAD/CAM (Davim et al., 2008).

transformadas em programas (NC) na etapa de pós processamento.

2.2.1 Programação das operações de maquinagem

A programação das operações de maquinagem é a etapa em que se define as trajetórias de maquinagem, a fixação da peça, as ferramentas a utilizar e ainda os parâmetros de corte. Estes parâmetros diferem do tipo de operação a executar, pois podemos ter operações de desbaste, semi-acabamento e acabamento, o que leva à utilização de estratégias de maquinagem diferentes.

A definição das trajetórias de maquinagem é de extrema importância no processo de maquinagem, pois este é um dos fatores que influencia o acabamento superficial da peça. Uma trajetória de maquinagem pode ser definida como o caminho no espaço que a ferramenta percorre, para que se obtenha a superfície pretendida. Estas trajetórias estão divididas em dois tipos: lineares e circulares. As trajetórias lineares são aquelas em que a ferramenta descreve movimentos retos, sendo que as trajetórias circulares são aquelas em que a ferramenta descreve movimentos curvilíneos. Para a realização deste último tipo de trajetória, é necessário que os controladores numéricos, sejam capazes de realizar interpolações lineares, de tal modo que a trajetória da ferramenta seja o mais aproximada possível da trajetória pretendida.

Assim, para cada operação deverá ser estudada qual a melhor estratégia a utilizar, ou seja, qual a melhor trajetória que a ferramenta deve descrever, uma vez que o tempo de maquinagem e a qualidade superficial das peças obtidas, são drasticamente afetadas por este parâmetro.

Ghionea et al. (2009), propuseram-se a testar várias estratégias para determinadas operações, pois estes defendem que o processo de maquinagem pode ser otimizado através da ferramenta utilizada e do tipo de trajetória, dividindo o bruto de maquinagem em camadas de corte, de modo a reduzir o tempo de processamento, obtendo simultaneamente a precisão imposta. Estes implementaram estratégias com base na trajetória da ferramenta, na qualidade superficial e na duração do processo, em operações de facejamento, furação e abertura de caixas.

Assim, verificou-se que mediante as trajetórias de maquinagem, os tempos de processamento eram afetados drasticamente. Ghionea et al. (2009), concluíram então, que

o menor tempo de processamento, que inclui o tempo de maquinagem e tempos não produtivos, é indicado para maximizar a produtividade em pequenos lotes de fabrico, e que o maior tempo de processamento é indicado para a obtenção de menores rugosidades superficiais, pois um maior tempo de maquinagem efetivo, implica maior contacto entre peça e ferramenta, o que traduz um maior desgaste da ferramenta.

Portanto, pode-se concluir que o tipo de programação das operações de maquinagem, influenciam a qualidade superficial da peça, os tempos de processamento e a vida útil da ferramenta.

2.2.2 Simulação virtual do processo

A maquinagem a 5 eixos, permite um maior número de graus de liberdade entre ferramenta e peça, fazendo com que os movimentos descritos pela ferramenta não sejam assim tão fáceis de entender, o que por vezes pode resultar em colisões entre a ferramenta e a peça. Isto pode fazer com que os rolamentos híbridos na árvore da máquina fiquem danificados, o que envolve grandes custos e tempos de reparação. Mesmo que a máquina não seja danificada, se houver uma colisão entre peça ferramenta, isso pode por em causa todo o tempo de maquinação já feito e ainda a utilização da ferramenta (Davim et al., 2012).

Assim, torna-se importante que haja uma simulação e verificação do processo de maquinagem, ou seja, que o *software* CAM verifique a existência de alguma violação da superfície, a existência de alguma colisão, análise a coerência dos movimentos a serem realizados pela ferramenta e ainda forneça informações a respeito do material residual deixado em regiões não acabadas.

Para assegurar que os componentes da máquina, assim como a ferramenta e sua fixação, não irão colidir com a peça, os *softwares* CAM já dispõem de um ambiente virtual em que é possível importar ficheiros CAD da máquina, das ferramentas, da fixação da peça e de todos os elementos que estão presentes no espaço de trabalho, como é ilustrado na figura 2.7.

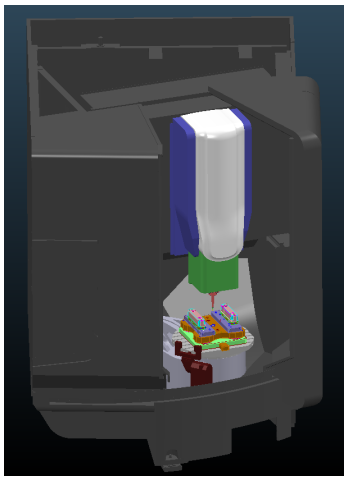


Figura 2.7: Simulação gráfica do processo de maquinagem.

Os componentes da máquina devem ser montados virtualmente, e suas relações cinemáticas devem ser estabelecidas. Depois, os sistemas de fixação, a ferramenta e a peça

devem ser incluídos, identificados, e posicionados nesse modelo. Por fim, o programa deve ser pós processado e simulado para garantir a segurança do processo de maquinagem.

2.2.3 Pós processamento

Após o processo de maquinagem ter sido simulado e verificado, o programa CAM é então pós processado.

Portanto, é necessária uma tradução dos dados gerados pelo CAM em instruções de movimentos dos cinco eixos da máquina, em uma linguagem que esta compreenda. A essa tradução dá-se o nome de transformação cinemática inversa (*inverse kinematics transformation*), e este processo depende primordialmente do tipo da máquina a ser usada.

A principal preocupação a ter no pós processamento é quando o percurso gerado pelo CAM é traduzido em código NC, havendo erros nesta transição derivados do pós processador.

Por exemplo, o cálculo geométrico da posição do ponto central da ferramenta (TCP) e a orientação da ferramenta, é diretamente calculado por todos os softwares comerciais com capacidades de maquinagem a 5 eixos, sendo que o programador não tem qualquer acesso aos algoritmos implementados dentro destes sistemas. Por isso, se o algoritmo implementado não for o mais adequado para a orientação da ferramenta, está-se a criar um erro de maquinagem, no qual o programador não tem controlo sobre ele (Davim et al., 2012).

Assim, dado que existem muitas configurações diferentes de máquinas de 5 eixos, os pós processadores têm que ser adaptados para cada tipo de máquina. Por exemplo, utilizar uma máquina de 5 eixos em que as duas rotações são feitas na mesa, é totalmente diferente de utilizar uma máquina de 5 eixos em que as duas rotações são feitas na ferramenta. A mesma peça e até o mesmo código APT obtido a partir de CAM, leva a códigos NC totalmente diferentes (Davim et al., 2012).

2.3 Estratégias de maquinagem

Atendendo ao mundo extremamente competitivo em que vivemos, a diferença entre lucro e perda de fabricantes e, por extensão, sucesso e fracasso, é determinado em grande parte pela eficácia das estratégias de maquinagem e ferramentas.

Assim, é de extrema importância evoluir para a maquinagem a 5 eixos, tanto seja a 5 eixos posicionais ou a 5 eixos contínuos.

Em relação à maquinagem a 3 eixos, este processo apresenta algumas vantagens, tais como (Delcam, 2015):

- Permite que todas as faces de um componente (exceto a base) possam ser maquinadas em uma configuração, relativa a uma referência de configuração de ferramenta comum;
- Permite acesso a paredes laterais profundas com ferramentas de tamanho padrão;
- Permite acesso a características geométricas em contra-saída.

Para passar de maquinagem com 3 eixos para 5 eixos, é acrescentado ao centro de maquinagem um divisor (montado na cabeça ou na mesa) de forma a realinhar a ferramenta, utilizando rotação, antes de seguir com operações em X, Y e Z. De acordo com essa metodologia, o que é normalmente feito a nível de programação CAM é criar, para cada reorientação da ferramenta, planos de trabalho alinhados com a nova orientação, definindo depois estratégias com recurso a 3 eixos (Delcam, 2015).

Uma vez que no final da programação são obtidas várias referências de posição, é necessário prestar atenção à transição entre elas e à definição da referência que deve ser utilizada no programa NC, que pode ter de corresponder à posição do ponto em relação ao qual se dá a rotação dos eixos A e/ou B e/ou C. Devido à inclusão de eixos de rotação, estes aspetos são particularmente importantes na fase de pós-processamento de programas NC, sendo mesmo necessário configurar o pós-processador para o centro de maquinagem a que o programa se destina, de forma a que as transições obtidas não comprometam a integridade da peça.

2.3.1 Estratégias aplicáveis ou específicas para 5 eixos

Acabamento por projeção de superfície

Tendo uma superfície de referência, é feita uma projeção, ao longo da normal da mesma, no componente. Essa superfície, obtida através de aplicações CAD com modelação de superfícies, pode não corresponder, corresponder em parte ou até na totalidade à forma do componente, devendo ter transições o mais suaves possível, uma vez que o passo lateral da estratégia é definido por unidades de distância ou divisão paramétrica entre curvas definidas pela superfície. Existem ainda outras opções de modificação do efeito da estratégia como a direção de projeção (para dentro ou para fora), direção de padrão (ao longo ou transversalmente) ou canto inicial do padrão. No contexto de maquinagem com mais de 3 eixos, é ainda importante definir a forma de alinhamento da ferramenta (Delcam, 2015).

Acabamento por padrão embutido

Aplicada em contextos multi-eixo de ferramenta, ao ter um padrão embutido como referência, é possível através desta estratégia obter percursos em que o eixo da ferramenta é alinhado com a normal à superfície em que o padrão foi aplicado. A forma de projeção do padrão no modelo é, por sua vez, definida pelo utilizador que, ao embuti-lo, o pode escolher fazer ao longo do eixo Z ativo ou no ponto mais próximo ao modelo (Delcam, 2015).

Acabamento *swarf*

Em relação a outras, as estratégias do tipo *swarf* destacam-se por ser utilizado o lado da ferramenta para maquinar. Por isso mesmo, para uma superfície ser sujeita a acabamento *swarf*, é necessário que a ferramenta possa estar em total contacto com a superfície ao longo de toda a profundidade de corte. Como existem superfícies em que, mesmo após o ajuste de definições de eixo da ferramenta, tal não acontece, é por vezes contornada a questão da qualidade superficial, sendo feito um acabamento *swarf* entre duas curvas (modelos de arame correspondentes ao topo e base), em vez de ser utilizada

a superfície como referência. Nesses casos em que o *swarf* deveria ser aplicável a uma superfície mas se torna necessário utilizar modelos de arame, a mesma deve ser definida como parte do modelo a ignorar (utilizando as opções de sobre espessura), para não interferir no cálculo da estratégia (Delcam, 2015).

Acabamento linha de fluxo

Neste tipo de estratégia, ao utilizar um mínimo de quatro curvas como guia, o passo lateral da ferramenta é definido independentemente da geometria do modelo a maquinar, obtendo-se o mesmo espaçamento ao longo de todo o percurso. Também por ser definida uma superfície virtual que substitui o modelo nas definições, a região a maquinar não precisa de corresponder necessariamente a uma só superfície (Delcam, 2015).

Furação helicoidal

O ciclo de furação helicoidal de 5 eixos, permite ao operador gerar percursos helicoidais para uma furação eficiente, sendo especialmente útil para materiais que são difíceis de maquinar.

Esta estratégia reduz o desgaste na ferramenta, e não requer nenhuma pré-perfuração, até mesmo em furos profundos (Delcam, 2015).

Estratégias para aplicações específicas

- **Acabamento rotativo**: especificamente quando é montado um eixo rotativo na máquina, é possível utilizar este tipo de estratégia para operações em 3 eixos, enquanto o componente é rodado ao longo do eixo X (Delcam, 2015).

- **Estratégias para maquinar painéis de porta**: numa estratégia para portas, é assumido um realinhamento da ferramenta, de forma a atingir as zonas mais internas da porta (Delcam, 2015).

- **Estratégias para maquinar turbinas**: definindo diferentes zonas da turbina, estas estratégias criam percursos específicos para a zona das lâminas (Delcam, 2015).

2.4 Preparação de trabalho

A preparação de trabalho é um fator bastante importante no processo de maquinagem, pois consiste em fazer a ligação entre a engenharia do projeto e a produção do mesmo. Pode-se definir a preparação de trabalho como um procedimento a seguir para a determinação dos métodos e sequência de fabrico, para a produção de um componente com as especificações exigidas pelo projeto.

Posto isto, uma boa preparação de trabalho deve incluir as máquinas ferramentas a utilizar, a seleção das ferramentas, a seleção do bruto a maquinar, a seleção dos dispositivos de fixação, tanto da peça como da ferramenta, a seleção das condições de corte e ainda a sequência de operações de maquinagem, permitindo assim reduzir custos e flexibilizar a produção, ou seja, otimizar o processo de maquinagem.

Harik et al. (2006), realizaram um estudo que teve como objetivo a redução dos tempos de ciclo de produção de peças estruturais aeronáuticas. Apesar deste estudo ter sido realizado em casos da indústria aeronáutica, pensa-se que os procedimentos de preparação de trabalho que os autores descrevem, se possam adaptar à indústria de moldes.

Assim sendo, define-se a seguinte organização para os procedimentos de preparação de trabalho:

1 *Dimensões do bruto de maquinagem*: As dimensões do bruto a maquinar, deverão permitir obter a peça pretendida. No caso de peças pequenas, deverá ser equacionada a maquinagem de várias unidades no mesmo bruto de maquinagem;

2 *Potenciais ferramentas de corte*: Estas deverão ser escolhidas com base no material a cortar, no comprimento de corte, no diâmetro da fresa e no raio de canto, quando aplicável, que será determinado pelo menor raio de concordância existente na peça a obter.

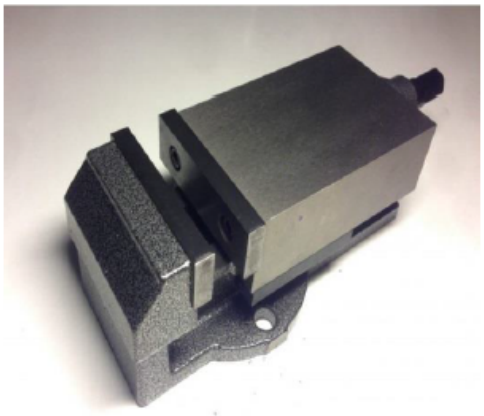
3 *Dificuldades na maquinagem*: Identificar potenciais problemas na maquinagem do componente e, sempre que possível, resolvê-lo alterando os parâmetros de corte, ou até mesmo alterando o processo de maquinagem;

4 *Fixação do bruto de maquinagem à máquina*: A fixação é feita, tipicamente, recorrendo a excesso de material em forma de abas que, após a maquinagem da peça, são removidas por corte manual. Outro aspeto importante é a orientação da peça no bruto de maquinagem. Esta seleção deverá ter em conta que a peça deverá ser orientada de modo a que a maioria dos planos possam ser maquinados através da fresagem de topo. Assim sendo, a orientação da peça deverá ser escolhida com base no plano que possui a maior área passível de ser maquinada por fresagem de topo.

2.4.1 Dispositivos de fixação do bruto

Dentro dos dispositivos de fixação, podem distinguir-se dois, definidos como standard: as prensas mecânicas e os grampos, conforme ilustrado na figura 2.8.

(a) Grampos.



(b) Prensa Mecânica.

Figura 2.8: Sistemas de fixação do bruto.

Para operações de maquinagem a 3 eixos, estes dois dispositivos de fixação permitem obter praticamente todas as geometrias. A sua desvantagem prende-se com o facto de não serem personalizáveis para cada componente produzido. No caso de certas geometrias, como é o caso de geometrias sujeitas a empenos após a maquinagem, estes dispositivos são desaconselháveis.

Assim, para a maquinagem a 5 eixos surgiu um novo método de fixação do bruto, que permite diminuir os tempos de preparação.

Este sistema tem por base o uso de paletes que aloja o bruto a maquinar, sendo que incorpora uma tecnologia de fixação ponto zero. Este fornece um ponto de referência que se manterá ao longo das operações de maquinagem, e mesmo que se proceda à troca desta palete para uma outra máquina CNC que use este tipo de sistema, o ponto de referência manter-se-á. Além disto, a palete ainda representa uma fixação física no que diz respeito às forças de maquinagem (Karaquzel et al., 2013).

A conexão entre a palete e a máquina CNC é feita então pelo sistema de fixação ponto zero. Uma base que contém os *chucks* é fixa à mesa da máquina, e a palete é então montada nestes *chucks* que garantem um posicionamento rápido, preciso e de elevada rigidez (Karaquzel et al., 2013). A figura 2.9 ilustra este sistema de fixação.

Figura 2.9: Sistema de fixação ponto zero.(Karaquzel et al., 2013).

O uso de paletes proporciona uma boa rigidez e uma boa resistência às forças e vibrações geradas no processo de maquinagem, o que as torna indispensáveis para a maquinação de peças com geometrias complexas ou de paredes finas (Karaquzel et al., 2013).

Assim, apesar do seu elevado custo, este tipo de fixação é aconselhável para produções em série, peças que apresentem geometrias complexas ou peças de paredes finas.

2.4.2 Dispositivos de fixação da ferramenta

A fixação da ferramenta à máquina é de extrema importância, pois a sua fixação pode influenciar o comportamento da mesma.

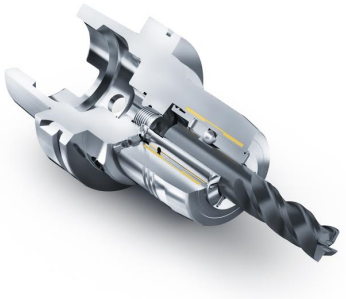
Os dispositivos de fixação são designados por cones ou porta ferramentas, e são dispositivos que agem como uma interface que liga o fuso da máquina a uma ferramenta de

corte, de forma a que não seja diminuída a eficiência dos elementos mencionados (Keith et al., 2007).

Os resultados da maquinagem a alta velocidade dependem ativamente da interface que se cria entre a ferramenta, o porta-ferramentas e o sistema de acoplamento na máquina, devendo estes ser desenvolvidos para trabalharem sob condições severas. O sistema de fixação deverá garantir não só a troca rápida da ferramenta, como também cumprir as funções para que foi projetado, com garantia de exatidão dimensional, mesmo após várias trocas. Desta forma, é de extrema importância que se atente aos seguintes aspetos: ao balanceamento, ao batimento radial, à concentricidade e à tolerância de forma e posição, reduzindo assim a influência da força centrífuga causada pela distribuição assimétrica de pequenas massas e desvios radiais (Verellen et al., 2005).

Os porta-ferramentas mais comuns nos centros de maquinagem são: os mecânicos, os hidráulicos e os térmicos, estando estes ilustrados na figura 2.10.

(a) Cone de fixação mecânica.



(b) Cone de fixação hidráulica.

(c) Cone de fixação térmico.

Figura 2.10: Dispositivos de fixação da ferramenta Davim et al. (2006).

Os primeiros porta-ferramentas a surgir foram os de fixação mecânica (figura 2.10a). Estes funcionam através de um sistema de pinças no seu interior, que vão estar em contacto com a ferramenta. Para fixar a ferramenta ao cone, é necessário apertar a porca da pinça. Esta tecnologia é a mais barata das três descritas (Keith et al., 2007).

O sistema de fixação hidráulico (figura 2.10b) consiste em ter na região de encaixe da ferramenta ao cone, uma câmara vedada preenchida com óleo. A fixação da ferramenta acontece quando se rosca um parafuso que se encontra no corpo do porta-ferramentas. Ao ser roscado, este parafuso pressiona óleo contra as paredes da câmara, aumentando assim a pressão. O óleo só se poderá expandir na região da ferramenta (similar a uma pinça). Deste modo, o óleo expandido vai fixar uniformemente a ferramenta ao porta-ferramentas. Para se soltar a ferramenta, desenrosca-se o parafuso. Este sistema tem a

particularidade de absorver melhor as vibrações provenientes da maquinagem (Keith et al., 2007).

Os porta-ferramentas de fixação térmica (figura 2.10c) têm como objetivo, em teoria, transformar o conjunto ferramenta / porta-ferramentas num corpo único. De modo a fazer esta ligação, o cone do porta-ferramentas é aquecido numa máquina própria para o efeito (em condições térmicas pré-estabelecidas) e, aproveitando o coeficiente de dilatação térmica do material do cone, o furo onde encaixa a ferramenta expande. A ferramenta (à temperatura ambiente) é então inserida neste furo e arrefece-se de seguida o conjunto, fixando-se assim os dois elementos. Quando se pretender retirar a ferramenta, aquece-se novamente o conjunto e, por diferença de dilatações térmicas entre os dois materiais, retira-se a mesma (Keith et al., 2007).

2.5 Ferramentas de corte

Todas as variáveis que influenciam o processo de fresagem têm um grande peso para a qualidade final das peças fabricadas, e tanto as ferramentas de corte como os materiais em que as peças serão feitas não são exceção. A escolha da ferramenta adequada depende, fundamentalmente, do tipo de geometria que se pretende obter. Uma escolha acertada permite poupar tempo, material, prolongar a sua vida útil e, consequentemente, tornar o processo mais rentável.

2.5.1 Tipos de ferramentas de corte

Existe uma grande variedade de fresas para maquinagem, e estas devem ser sempre escolhidas conforme a operação que se pretende realizar. Assim, na figura 2.11 encontram-se algumas fresas do tipo: porta pastilhas de facejar, de disco, inteiriças de forma, cilíndricas, de topo raso e de topo esférico (Davim et al., 2006).

Figura 2.11: Exemplo de alguns tipos de fresas Davim et al. (2006).

Nas operações de fresagem, é frequente a utilização de mais que um tipo de fresa para obter a forma final pretendida, pois devido à quantidade de material a remover, deve-se

proceder a uma fase de desbaste, seguindo-se uma fase de acabamento. Por vezes, o acabamento implica a utilização de fresas de pequeno diâmetro devido à complexidade da geometria a maquinar, o que faz com que a flexão da ferramenta aumente drasticamente. Assim, sempre que possível, recorre-se a fresas de diâmetro superior, para aproximar o mais possível a geometria da sua forma final, havendo uma redução da flexão da ferramenta e consequentemente uma melhoria da estabilidade no processo de corte. A estas operações dá-se o nome de operações de semi-acabamento (Davim et al., 2006).

Na maquinagem a alta velocidade, a ferramenta está sujeita a grandes esforços gerados pelo corte. Assim a aresta de corte deve ser mais reforçada. Utiliza-se então ferramentas com raio de ponta, ou de topo esférico, ou ainda ferramentas em que se realize um pequeno chanfro na extremidade da aresta de corte, conforme ilustra a figura 2.12 (Davim et al., 2006).

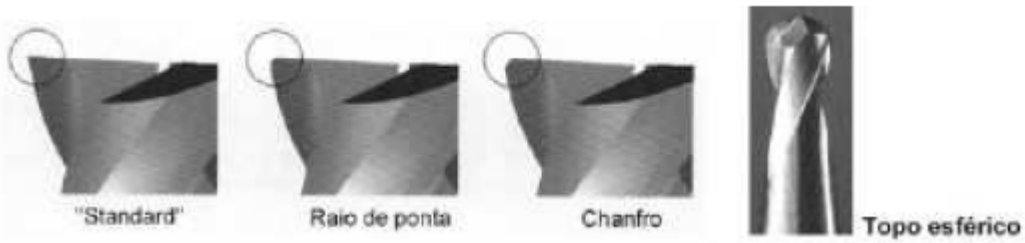


Figura 2.12: Diferentes tipos de aresta de corte nas ferramentas de carbonetos sinterizados Davim et al. (2006).

As ferramentas de duas ou três arestas de corte são preferíveis para a maquinagem de ligas leves, como por exemplo, o alumínio. Isto deve-se ao facto de permitirem um escoamento fácil da apara. Já as ferramentas de quatro, seis, ou oito arestas de corte são mais indicadas para a maquinagem de aço, permitindo uma distribuição mais uniforme dos esforços gerados no corte (Davim et al., 2006).

2.5.2 Parâmetros de corte

Os parâmetros de corte só poderão ser determinados após o conhecimento de alguns fatores, como por exemplo, o material da ferramenta, o material a maquinar, a potência disponível para realizar a operação e o tipo de acabamento superficial pretendido. Assim, a partir das equações que se seguem, os parâmetros de corte podem ser calculados e alguns deles introduzidos no *software* CAM (Walsh et al., 2005).

A velocidade de corte (V_c) pode ser calculada a partir da equação 2.1, em que $Ø_{\text{ferramenta}}$ é o diâmetro da ferramenta de corte e n é a velocidade de rotação da ferramenta.

$$V_c = \frac{\pi \times Ø_{\text{ferramenta}} \times n}{1000} \tag{2.1}$$

A velocidade de avanço (V_f) pode ser determinada pela equação 2.2, em que n é a velocidade de rotação da ferramenta, f é o avanço por dente e z_n é o número de dentes.

$$V_f = n \times f \times z_n \tag{2.2}$$

A taxa de remoção de material (MRR), que permite determinar o volume de material removido por unidade de tempo, é calculado pela equação 2.3, em que V_f é a velocidade de avanço, a_p é a profundidade de corte e a_e é o passo lateral.

$$MRR = V_f \times a_p \times a_e \tag{2.3}$$

A rugosidade média aritmética teórica (R_{ta}) pode ser determinada pela equação 2.4, em que a_z é o avanço por dente e r é o raio de curvatura da ponta da ferramenta de corte.

$$R_{ta} = \frac{{a_z}^2}{32 \times r} \tag{2.4}$$

Este valor teórico tem especial importância quando é necessário, por imposição de projeto, um valor específico de rugosidade superficial.

A figura 2.13 relaciona a velocidade de corte e a velocidade de avanço, em função das operações de maquinagem.

-GENERAL APPLICATIONS FOR CUTTING CONDITIONS-		
CONDITION	-SPEED-	-FEED-
Roughing	⇩	⇧
Finishing	⇧	⇩
End Milling	⇧	⇩
Slotting	⇧	⇩
Hard Material	⇩	⇨
Soft Material	⇧	⇧
Scale	⇩	⇧
Tool Life	⇩	⇨
Heavy d.o.c.	⇩	⇩

Higher- ⇧
Lower- ⇩
Same- ⇨

Figura 2.13: Combinação da velocidade de corte e da velocidade de avanço, em função das operações de maquinagem (Walsh et al., 2005).

Parte II

Métodos

Capítulo 3

Metodologia Experimental

Este capítulo tem como objetivo definir o procedimento a seguir para obtenção de um postiço e descrever o desenvolvimento do trabalho experimental que permite avaliar a inserção do processo de maquinagem 5 eixos para o fabrico de postiços.

Os ensaios experimentais consistiram em comparar os processos de maquinagem de alguns postiços característicos da alguns moldes da empresa Simoldes Aços,SA.

Assim, foram escolhidos alguns postiços para casos de estudo, em que se pretende avaliar a viabilidade de integrar um centro de maquinagem 5 eixos no processo de maquinagem de postiços de pequeno e médio porte, pois a maquinagem de um postiço a 3 eixos apresenta um tempo de fabricação muito elevado.

Na figura 3.1 está representado um esquema conceptual do procedimento a seguir para obtenção de postiços de pequeno e médio porte. É de referir, que este estudo só incide no semi-acabamento e no acabamento de postiços, sendo que o desbaste do bruto não é considerado.

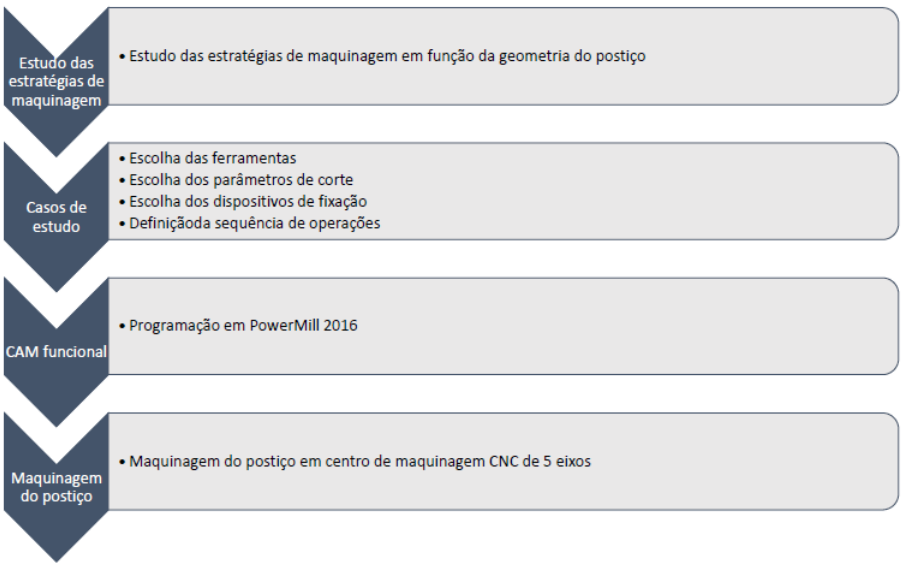


Figura 3.1: Procedimento para obtenção de postiços de pequeno e médio porte

3.1 Procedimento de maquinagem de um postiço

A maquinagem de postiços de pequeno e médio porte pode ser dividida em duas grandes operações, a de desbaste e a de semi-acabamento/acabamento. Atendendo às diferentes características de maquinagem em cada uma das operações, estas são realizadas em diferentes equipamentos CNC, sendo que o procedimento de maquinagem em cada operação será descrito detalhadamente nas secções 3.1.1 e 3.1.2.

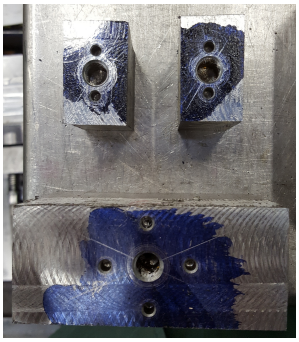
3.1.1 Operação de maquinagem: Desbaste

A operação de desbaste consiste em maquinar o bruto de forma a aproximar o postiço à sua forma desejada. Para isso, o bruto é escolhido atendendo às dimensões de cada postiço e às semelhanças geométricas que vários postiços possam apresentar. Em alguns casos torna-se vantajoso que o bruto origine vários postiços, isto porque, como se trata de dimensões relativamente pequenas, na ordem das dezenas de milímetros, há um ganho na preparação da fixação do bruto.

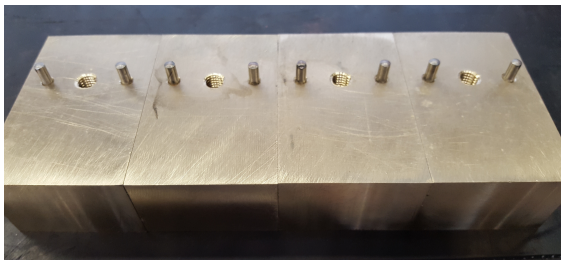
O sistema de fixação do bruto à mesa da máquina CNC é feito através de paletes, ou através da prensa mecânica, sendo que o mais usual seja a utilização de paletes. Neste último caso, a fixação do bruto à palete é feita por um parafuso M6/M8/M10/M12 e ainda por duas ou quatro cavilhas com diâmetro 4 mm. Assim, antes de se proceder à maquinagem do bruto, é necessário fazer uma furo roscado M6/M8/M10/M12 e ainda dois ou quatro furos D4H7 para a alocação das cavilhas. Este sistema de aperto será explicado detalhadamente na secção 3.4.

A Figura 3.2 ilustra a preparação do bruto para sua fixação à palete, para de seguida se proceder ao desbaste.

(a) Bruto.



(b) Furações necessárias para fixação do bruto.



(c) Fixação das cavilhas no bruto.

Figura 3.2: Sistema de fixação do bruto.

Como referido anteriormente, as dimensões do bruto são sempre determinadas acima das dimensões máximas do postiço a maquinar, sendo que o bruto apresenta sempre 20 mm de altura a mais relativamente à dimensão máxima em Z do postiço. É necessário este material excedentário por causa das furações realizadas para a fixação do bruto à palete, de maneira a garantir que haja material necessário para obtenção do postiço.

A operação de desbaste é sempre feita num único aperto, sendo por isso o desbaste efetuado sempre do lado oposto da gravação do postiço, ou seja, maquina-se o topo do postiço e as laterais do mesmo. É importante realçar que no final desta operação, o postiço apresenta 1 mm de sobre-espessura, tanto em XY como em Z. A Figura 3.3 ilustra um postiço, onde está identificada a zona de gravação do mesmo, sendo que na Figura 3.4 está representada a vista de topo e lateral do mesmo postiço, para melhor perceção da posição deste na operação de desbaste.

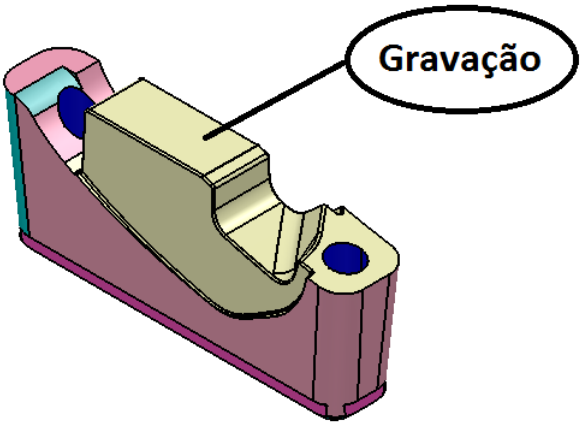
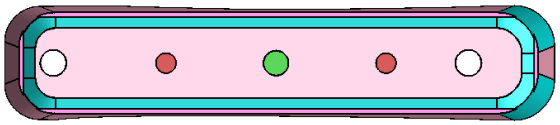
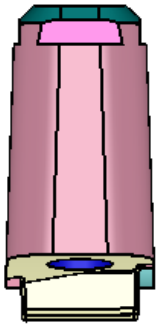


Figura 3.3: Postiço.



(a) Vista de topo do postiço.



(b) Vista lateral do postiço.

Figura 3.4: Vista de topo e lateral do postiço.

Todas as operações de desbaste são realizadas num centro de maquinagem CNC de 3 eixos, mais concretamente uma fresadora vertical *Raubaudi Rammatic 600*. Esta é ilustrada na Figura 3.5 e na Tabela 3.1 são apresentadas algumas características do equipamento em questão.

Figura 3.5: *Fresadora vertical Raubaudi Rammatic 600 (Simoldes Aços).*

Tabela 3.1: Principais características técnicas da fresadora vertical *Raubaudi Rammatic 600*.

Dimensões da mesa	$mm \times mm$	2000x610
Área de trabalho		
Curso em X	mm	1250
Curso em Y	mm	600
Curso em Z	mm	600
Peso máximo na mesa	kg	2000
Potência do equipamento	kW	15
Capacidade de armazém de ferramentas	Unidades	24
Velocidade de rotação máxima	rpm	4500
Velocidade de avanço máximo	m/min	10

Figura 3.6: DMU 60 eVo linear (DMG MORI SEIKI, 2015).

3.1.2 Operações de maquinagem: Semi-acabamento e acabamento

As operações de semi-acabamento e acabamento consistem em maquinar a peça resultante do desbaste, de forma a obter a geometria e o acabamento superficial desejado do postiço. Dado que, os objetivos desta dissertação recaem maioritariamente sobre estas duas operações, estas só serão abordadas de um modo geral nesta secção, sendo que, nas secções a seguir, estas serão descritas detalhadamente, como também todo os aspetos envolventes nestas operações, como por exemplo, o sistema de fixação, as ferramentas utilizadas e ainda todas as estratégias de maquinagem.

Assim, de um modo geral, o semi-acabamento e o acabamento são feitos em apenas dois apertos, sendo que as operações de semi-acabamento são todas aquelas até que o postiço fique com uma sobre-espessura de 0.15 mm em XY e Z, seguindo-se depois as operações de acabamento de forma a obter a geometria final do postiço.

É sobre estas duas operações de maquinagem que há a necessidade de introduzir a maquinagem a 5 eixos contínuos ou posicionais, de forma a reduzir o número de apertos necessários para a obtenção do postiço, e ainda reduzir os tempos de maquinagem, pois equipamentos CNC dotados de 5 eixos, permitem maiores velocidades de avanço e maiores velocidades de rotação da ferramenta.

Assim, a máquina em questão, é a DMU 60 eVo linear. Esta é fabricada pela DMG Mori, uma empresa especializada em equipamentos de maquinagem.

Este centro de maquinagem incorpora tecnologia 5 eixos, sendo que 3 eixos são lineares (X, Y e Z), e dois são rotativos (B e C). Os eixos lineares são movidos pelo *spindle* da máquina, enquanto os rotativos são efetuados pela mesa.

A figura 3.6 ilustra o centro de maquinagem DMU 60 eVo linear, em que se destacam algumas especificações estruturais da máquina.

Na tabela 3.2 pode-se observar algumas características técnicas do centro de maquinagem DMU 60 eVo linear, sendo que no anexo A, se encontram todas as especificações da máquina.

Acoplada à máquina DMU 60 eVo linear, está um manipulador de paletes PH 150|8,

Legenda

1	*Spindle* da máquina;	5	Guia linear no eixo Z;
2	Consola do comando;	6	Guias lineares no eixo X e Y;
3	Armazém de ferramentas;	7	Mesa da máquina com 2 eixos de rotação B e C;
4	Transportador de aparas;		

Tabela 3.2: Principais características técnicas da DMU 60 eVo linear (DMG MORI SEIKI, 2015).

Dimensões gerais	$mm \times mm \times mm$	2150x2830x2780
Área de trabalho		
Curso em X	mm	600
Curso em Y	mm	500
Curso em Z	mm	500
Rotação dos eixos da mesa		
Amplitude de rotação do eixo B	$^\circ$	-5/+110
Amplitude de rotação do eixo C	$^\circ$	360
Peso máximo na mesa	kg	400
Potência do equipamento	kW	25
Capacidade de armazém de ferramentas	Unidades	60
Velocidade de rotação máxima	rpm	18000
Velocidade de avanço máximo	m/min	80

Figura 3.7: Manipulador de paletes PH 150|8.

conforme ilustra a Figura 3.7.

Este manipulador de paletes tem como objetivo armazenar as paletes e auxiliar todo o processo de preparação da peça a maquinar. Este tem a capacidade de armazenar até 6 paletes, e ainda manipular paletes com um peso máximo de 250 kg. A Figura 3.8 ilustra o

Figura 3.8: Espaço para armazenamento de paletes do Manipulador PH 150|8.

espaço de armazenamento e forma como estão dispostas as paletes, sendo ainda possível observar um braço robot para executar a troca das paletes entre a área de trabalho da máquina e o espaço de armazenamento do manipulador.

Torna-se indispensável o uso deste manipulador de paletes, visto que este consegue efetuar trocas de paletes com um tempo de troca abaixo de 40 segundos, sendo este processo ilustrado na figura 3.9. Consegue-se ainda rentabilizar o tempo de maquinagem de uma peça, principalmente minimizar o tempo de preparação do postiço a maquinar, isto porque se torna possível a máquina estar a realizar operações de maquinagem em modo automático, e o operador estar a preparar o próximo postiço que irá ser maquinado de seguida.

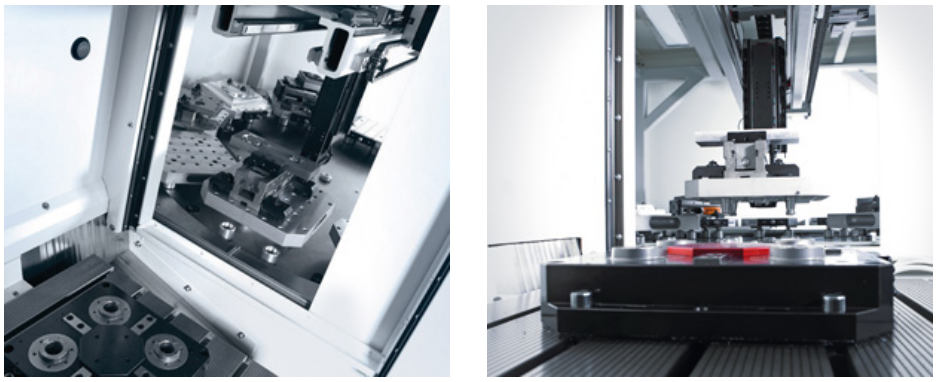


Figura 3.9: Troca de paletes entre a área de trabalho da máquina e o manipulador de paletes PH 150|8 .

Tabela 3.3: Lista de ferramentas para DMU 60 eVo linear (Fresas).

Posição	Designação Ferramenta	Diâmetro Ferramenta [mm]	Raio de ponta Ferramenta [mm]	Comprimento de Corte [mm]	Comprimento exposto Ferramenta [mm]	Velocidade de Rotação [rpm]	Velocidade de Avanço [mm/min]
1	T1_25x2_L34	25	2	34	34	2000	5000
2	T2_25X1_L140_PRE	25	1	35	140	4500	3000
3	T3_25X1_L140_ACAB	25	1	35	140	4500	3000
4	T4_20X3_L110	20	3	19	110	2000	6000
5	T5_20X3_L105_ACAB	20	3	29	105	8000	5500
6	T6_20X2_L100_ACAB	20	2	29	100	5500	3500
7	T7_20x2_L29	20	2	29	29	2200	5000
8	T8_20X1_L100_PRE	20	1	25	100	3500	3000
9	T9_20X1_L100_ACAB	20	1	25	100	2100	4200
10	T10_16X2_L24	16	2	24	24	5400	2800
11	T11_10x3_L45_PRE	10	3	25	45	8000	3000
12	T12_10x3_L45_ACB	10	3	25	45	8000	3000
13	T13_10x1_L47	10	1	47	47	7000	4000
14	T14_10x0.5_L47	10	0.5	47	47	7000	3000
15	T15_8x1_L45	8	1	25	45	7000	2500
16	T16_8x1_Lng_L60	8	1	30	60	7000	2500
17	T17_8x0.5_L45	8	0.5	25	45	8000	3500
18	T18_6ESF_L35	6	3	25	35	10000	2000
19	T19_6x1_L30	6	1	25	30	9000	2500
20	T20_6x1_Lng_L50	6	1	30	50	9000	2500
21	T21_6x0.5_L34	6	0.5	25	34	10000	2000
22	T22_6x0.5_Lng_L50	6	0.5	30	50	9000	2500
23	T23_4ESF_L31	4	2	13.8	31	1200	2500
24	T24_4ESF_Lng_L50	4	2	20	50	12000	1600
25	T25_4x1_L30	4	1	12	30	12000	1000
26	T26_4x1_Lng_L54	4	1	20	54	12000	3500
27	T27_4x0.5_L31	4	0.5	11.5	31	12000	2000
28	T28_3ESF_L35	3	1.5	10	35	13000	1500
29	T29_3x0.5_L37	3	0.5	10	37	14000	1500
30	T30_2ESF_L28	2	1	8	28	16000	1000
31	T31_2ESF_Lng_L50	2	1	8	50	16000	1000
32	T32_2x0.5_L30	2	0.5	8	30	14000	3000
33	T33_1.5ESF_L26	1.5	0.75	9	26	16000	1000
34	T34_1ESF_L25	1	0.5	6.5	25	18000	500
35	T35_1ESF_L29	1	0.5	4.2	29	18000	500
36	T36_0.8ESF_L25	0.8	0.4	6	25	13500	700

3.2 Seleção das ferramentas e dispositivos para sua fixação

No fabrico de peças que envolva operações de corte por arranque de apara, a seleção da ferramenta de corte a utilizar é de extrema importância. Assim, a velocidade de corte, a velocidade de avanço, a geometria da ferramenta, o material da ferramenta e da peça a maquinar e o fluído de corte, são aspetos a ter em consideração de modo a otimizar todo o processo de maquinagem. A escolha destas condições de corte tem que ser capazes de satisfazerem as exigências impostas tanto a nível de acabamento superficial, como também a nível dimensional, ao menor custo possível.

O centro de maquinagem DMU 60 eVo linear tem a capacidade de armazenar 60 ferramentas, sendo assim possível escolher um conjunto de ferramentas suficientemente vasto e variado, para que se possa realizar o maior número possível de geometrias.

Nas Tabelas 3.3 e 3.4 são apresentadas todas as ferramentas que estão dispostas no armazém de ferramentas da máquina, sendo que a Tabela 3.3 é referente às fresas de pastilhas, fresas toroidais e fresas esféricas. A Tabela 3.4 faz referência a todas as ferramentas de corte para operações de furação. Estas tabelas foram construídas com o objetivo de auxiliar na programação CAM, visto que contêm informações como o diâmetro da ferramenta e o seu raio de ponta, comprimento de corte, comprimento exposto da ferramenta, velocidade de rotação e velocidade de avanço.

A primeira coluna representa a posição que a ferramenta ocupará no armazém de ferramentas da máquina. A segunda coluna diz respeito à designação atribuída a cada

Tabela 3.4: Lista de ferramentas para DMU 60 eVo linear (Brocas).

Posição	Designação Ferramenta	Diâmetro Ferramenta	Ângulo da Ferramenta	Comprimento de Corte	Comprimento exposto Ferramenta	Velocidade de Rotação	Velocidade de Avanço
37	T37_BROCA_D18_L100	18	120	80	100	1238	322
38	T38_BROCA_D13.9_L98	13.9	120	92	98	1600	400
39	T39_BROCA_D12_L110	12	120	75	110	1857	446
40	T40_BROCA_D11_L70	11	120	50	70	2000	440
41	T41_BROCA_D10.5_L102	10.5	120	65	102	2100	531
42	T42_BROCA_D10H7_L70	10	120	58	70	2228	557
43	T43_BROCA_D9.9_L90	9.9	90	70	90	2251	518
44	T44_BROCA_D9_L86	9	120	60	86	2450	550
45	T45_BROCA_D8.5_L88	8.5	120	75	87	2621	524
46	T46_BROCA_D8_L63	8	120	47	63	2785	550
47	T47_BROCA_D7.9_L75	7.9	120	68	75	2820	500
48	T48_BROCA_D7_L70	7	120	40	70	3183	500
49	T49_BROCA_D7_L100	7	120	98	110	2274	200
50	T50_BROCA_D6.8_L73	6.8	120	55	70	3277	490
51	T51_BROCA_D6_L54	6	90	38	54	3700	550
52	T52_BROCA_D5_L50	5	120	51	62	3183	318
53	T53_BROCA_D5.1_L62	5.1	120	51	62	4369	560
54	T54_BROCA_D4.3_L60	4.3	120	50	60	5182	518
55	T55_BROCA_D4H7_L33	4	120	33	41	5570	557
56	T56_BROCA_D3H7_L34	3	120	15	34	7427	550
57	T57_Broca3.3_L46	3.3	120	24	46	5500	490
58	T58_ESCAR_D20_L75	20	90	15	75	2000	500
59	CALIBRE_LASER						
60	APALPADOR						

ferramenta, a terceira, quarta, quinta e sexta coluna são referentes às dimensões da ferramenta. Por último, a sétima e oitava coluna fornecem as velocidades de rotação e avanço para cada ferramenta.

Todas as ferramentas têm uma designação lógica para ser de fácil interpretação do operador, quando selecionada a ferramenta para a operação a realizar. No geral, a designação contempla a posição de cada ferramenta no armazém da máquina, o diâmetro e o seu raio de ponta e ainda o comprimento exposto da mesma, como se verifica nos exemplos a seguir:

1) T1_25x2_L34

- Legenda:
  - T1- Posição no armazém de ferramentas
  - 25- Diâmetro da ferramenta
  - 2- Raio de ponta da ferramenta
  - L34- Comprimento exposto da ferramenta

2) T18_6ESF_L35

- Legenda:
  - T18- Posição no armazém de ferramentas
  - 6- Diâmetro da ferramenta
  - ESF- Ferramenta esférica
  - L35- Comprimento exposto da ferramenta

3) T2_25x1_L140_PRE

- Legenda:
  - T2- Posição no armazém de ferramentas
  - 25- Diâmetro da ferramenta
  - 1- Raio de ponta da ferramenta
  - L140- Comprimento exposto da ferramenta
  - PRE- Ferramenta para operações de semi- acabamento

4) T3_25x1_L140_ACAB

- Legenda:
  - T18- Posição no armazém de ferramentas
  - 25- Diâmetro da ferramenta
  - 1- Raio de ponta da ferramenta
  - L140- Comprimento exposto da ferramenta
  - ACAB- Ferramenta para operações de acabamento

5) T24_4ESF_Lng_L50

- Legenda:
  - T24- Posição no armazém de ferramentas
  - 4- Diâmetro da ferramenta
  - ESF- Ferramenta esférica
  - Lng- Ferramenta longa
  - L50- Comprimento exposto da ferramenta

6) T37_BROCA_D18_L100

- Legenda:
  - T37- Posição no armazém de ferramentas
  - Broca- Tipo de ferramenta
  - D18- Diâmetro da ferramenta
  - L100- Comprimento exposto da ferramenta

As velocidades de rotação e avanço que são apresentadas na sétima e oitava coluna, foram determinadas através de testes realizados na empresa, juntamente com os fornecedores das mesmas. Assim, estas velocidades apresentam um aumento de 20 a 30 % face às velocidades recomendadas em catálogos.

As ferramentas seguem uma lógica de organização. Assim, as fresas são apresentadas nas primeiras posições (desde a primeira posição até à trigésima sexta posição do armazém de ferramentas), estando estas dispostas por ordem decrescente, em função do diâmetro da ferramenta e do raio de ponta da mesma. Decidiu-se organizar todas as ferramentas desta maneira, dado que se inicia a maquinagem de uma peça com ferramentas de maior diâmetro (operações de semi-acabamento), passando a utilizar ferramentas de menor diâmetro (operações de acabamento). Assim, evita-se que a máquina percorra várias posições no armazém à procura das ferramentas.

A partir da trigésima sétima posição até à quinquagésima sétima posição, estão dispostas todas as brocas helicoidais, sendo que são apresentadas seguindo a mesma lógica que as fresas, ou seja, estão dispostas do maior diâmetro para o menor diâmetro da ferramenta.

Na quinquagésima oitava posição está disposto um escareador com diâmetro 20 mm para escareamento de furos. Nas duas últimas posições são apresentadas uma ferramenta padrão para calibração do laser e ainda um apalpador.

Visto que o equipamento CNC só tem capacidade para armazenar 60 ferramenta, e dado que ainda existem algumas ferramentas que são utilizadas com alguma frequência, decidiu-se criar ainda mais duas tabelas, a Tabela 3.5 e a Tabela 3.6.

Na Tabela 3.5 são apresentadas fresas para corte trocoidal, sendo que estas, apesar de não estarem armazenadas no armazém de ferramentas da máquina, têm uma posição fixa de modo a que o operador consiga facilmente identificar a ferramenta para uma determinada operação. Quando se procede à troca de ferramenta, sendo que a posição da ferramenta é maior que 60, esta executa a troca de ferramenta, deixando assim a ferramenta anterior no armazém de ferramentas da máquina. Ao detetar que não existe

nenhuma ferramenta na árvore da máquina, esta movimenta-se à posição de montagem manual da ferramenta, procedendo-se assim à sua montagem. Depois de executada a operação de maquinagem, a árvore da máquina retorna a esta mesma posição, podendo-se desmontar a ferramenta, fazendo de seguida a troca automática da ferramenta.

A Tabela 3.6 apresenta todas as fresas de roscar para realização de furos roscados. Opta-se por armazenar estas fresas de roscar fora da máquina, de modo a obrigar a que as operações de roscagem sejam realizadas com a presença de um operador, isto porque caso aconteça um erro derivado a má programação CAM ou por uma fresa partir, o operador pára a máquina, conseguindo-se assim minimizar os efeitos desse mesmo erro.

Tabela 3.5: Lista de ferramentas para DMU 60 eVo linear (Fresas para corte trocoidal).

Posição	Designação Ferramenta	Diâmetro Ferramenta [mm]	Raio de ponta Ferramenta [mm]	Comprimento de Corte [mm]	Comprimento exposto Ferramenta [mm]	Velocidade de Rotação [rpm]	Velocidade de Avanço [mm/min]
70	T70_D25_FRK_DESB_L93	25	1	75	93	4000	3000
71	T71_D16_FRK_DESB_L58	16	0.7	25	58	2100	450
72	T72_D16_FRK_ACAB_L80	16	1	63	80	5000	2500
73	T73_D10_FRK_DESB_L40	10	1	10	40	3000	1000
74	T74_D10_FRK_ACAB_L40	10	0.5	20	40	3000	950
75	T75_D6_FRK_DESB_L30	6	1	10	30	3000	900
76	T76_D6_FRK_ACAB_L30	6	0.5	12	30	3000	700
77	T77_1X0.5_L34(HASTE D6)	1	0.5	4.5	34	18000	500

Tabela 3.6: Lista de ferramentas para DMU 60 eVo linear (Fresas de roscar).

Posição	Designação Ferramenta	Diâmetro Ferramenta	Comprimento de Corte	Comprimento exposto Ferramenta	Velocidade de Rotação	Velocidade de Avanço
100	T100_ROSCAR_M4	3	8		-	-
101	T101_ROSCAR_M5	4	10		-	-
102	T102_ROSCAR_M6_L25	4.8	12	25	-	-
103	T103_ROSCAR_M8_L32	6.4	15.5	32	-	-
104	T104_ROSCAR_M10_L42	7.95	18	42	-	-
105	T105_ROSCAR_M12_L45	9.95	23	45	-	-

3.3 Material dos postiços

Aquando da seleção do material para postiços, é importante ter em consideração a finalidade do componente, pois em certos casos, é necessário que tenha uma boa resistência ao desgaste, uma boa tenacidade, soldabilidade e ainda uma boa maquinabilidade. Em alguns casos é necessário que tenha uma boa condutibilidade térmica, para que se possa ter uma excelente extração de calor, sendo que para isso é utilizada uma liga de cobre AMPCOLOY 944. Nos restante casos, de forma genérica, é escolhido aço 1.2738, 1.2343 e 1.2344, sendo que estes dois últimos apresentam uma maior dureza face ao aço 1.2738.

Nas seguintes tabelas (Tabelas 3.7, 3.8, 3.9 e 3.10) são apresentadas algumas propriedades físicas e mecânicas destes materiais anteriormente mencionados. No anexo B encontra-se detalhadamente as propriedades destes materiais.

Tabela 3.7: Propriedades físicas e mecânicas do aço 1.2738.

Propriedades físicas e mecânicas	Unidades	Valores nominais
Tensão de rutura	MPa	993
Tensão de cedência	MPa	826
Ductibilidade/Alongamento	%	11
Dureza Brinell	HB	300
Dureza Rockwell	HRC	30
Tensão de compressão (0.1%)	MPa	—
Módulo de elasticidade	GPa	210
Densidade	g/cm^3	7.8
Coeficiente de expansão térmica	10^-6/K	12.8
Condutividade térmica	W/mK	34.5

Tabela 3.8: Propriedades físicas e mecânicas do aço 1.2343.

Propriedades físicas e mecânicas	Unidades	Valores nominais
Tensão de rutura	MPa	1450
Tensão de cedência	MPa	1240
Ductibilidade/Alongamento	%	13
Dureza Brinell	HB	543
Dureza Rockwell	HRC	54
Tensão de compressão (0.1%)	MPa	—
Módulo de elasticidade	GPa	215
Densidade	g/cm^3	7.8
Coeficiente de expansão térmica	10^-6/K	11.6
Condutividade térmica	W/mK	25

Tabela 3.9: Propriedades físicas e mecânicas do aço 1.2344.

Propriedades físicas e mecânicas	Unidades	Valores nominais
Tensão de rutura	MPa	1620
Tensão de cedência	MPa	1240
Ductibilidade/Alongamento	%	13.7
Dureza Brinell	HB	560
Dureza Rockwell	HRC	55
Tensão de compressão (0.1%)	MPa	—
Módulo de elasticidade	GPa	210
Densidade	g/cm^3	7.8
Coeficiente de expansão térmica	10^-6/K	10.8
Condutividade térmica	W/mK	–

Tabela 3.10: Propriedades físicas e mecânicas do AMPCOLOY 944.

Propriedades físicas e mecânicas	Unidades	Valores nominais
Tensão de rutura	MPa	938
Tensão de cedência	MPa	730
Ductibilidade/Alongamento	%	5
Dureza Brinell	HBW	294
Dureza Rockwell	HRC	31
Tensão de compressão (0.1%)	MPa	710
Módulo de elasticidade	GPa	151
Densidade	g/cm^3	8.69
Coeficiente de expansão térmica	10^-6/K	15.7
Condutividade térmica	W/mK	156

3.4 Sistema de fixação do postiço

O dispositivo de aperto tem como finalidade posicionar e fixar a peça a maquinar, sendo que tem que ser capaz de apertar a peça em pontos específicos, e fixá-la nessa posição sem que permita deslocamentos ou rotação da mesma, quando se dá a sua maquinagem.

O sistema de fixação da peça a maquinar é feito através de paletes. Assim, é usado um sistema designado por *Fast Clamping Systems*, que consiste num sistema de aperto rápido, robusto, preciso, flexível e fiável, o qual se adapta a diferentes geometrias e à máquina em que se pretende aplicar. Isto permite reduzir o tempo de *setup* de peça (troca e preparação do componente) e contribuir para o incremento da qualidade do produto final, através da redução de erros, resultado da robustez e repetibilidade que o sistema confere ao longo do processo de maquinação.

Atualmente, existem várias soluções no mercado que materializam este conceito. No Grupo Simoldes destacam-se o sistema comercializado pela *FPT - Fastmill* e o sistema comercializado pela *EROWA - MTS*, sendo este último utilizado no centro de maquinagem DMU 60 eVo linear.

O conceito base por detrás deste sistema de fixação consiste em converter o *T-slot* da mesa da máquina numa nova interface de aperto rápido, através de uma placa constituída por interfaces de fixação, *chucks*, de aperto pneumático. Assim, a placa equipada com pinos de ligação, poderá ser convertida numa matriz de paletização desenvolvida internamente. A fixação dos pinos pelos correspondentes *chucks* pode ser realizada de forma manual ou automática, com recurso a ar comprimido (MTS).

Um sistema de fixação rápida exige a definição dos pontos de aperto e apoios em cada componente desde a fase do projeto 3D, possibilitando a incorporação desta solução de aperto ao longo de várias etapas do processo produtivo.

Assim, à mesa da máquina é fixa uma base que integra quatro *MTS chucks*, em que uma base de alumínio assenta sobre esta, conforme ilustrado na Figura 3.10.

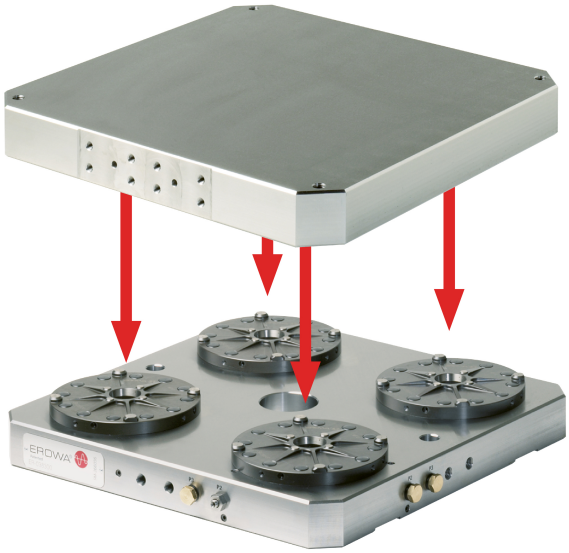


Figura 3.10: Base de alumínio que suporta os postiços.

Nesta base de alumínio ir-se-á fixar ainda umas paletes, que foram desenvolvidas pelo grupo Simoldes com o objetivo de:

- Otimizar o tempo de maquinação, resultando num aumento da utilização das máquinas (não só DMU 60 eVo linear);
- Converter *setup* interno (preparação de trabalho com máquina parada) em externo (preparação de trabalho enquanto a máquina está em trabalho);
- Reduzir o *lead time* de produção de componentes;
- Padronizar o método de maquinação de componentes.
- Diminuir as não conformidades na transição de componentes entre sectores.
- Uniformizar as estratégias de programação.

A Figura 3.11, ilustra a palete utilizada em todos os equipamentos CNC destinados tanto a desbaste, como a acabamento de postiços de pequeno e médio porte.

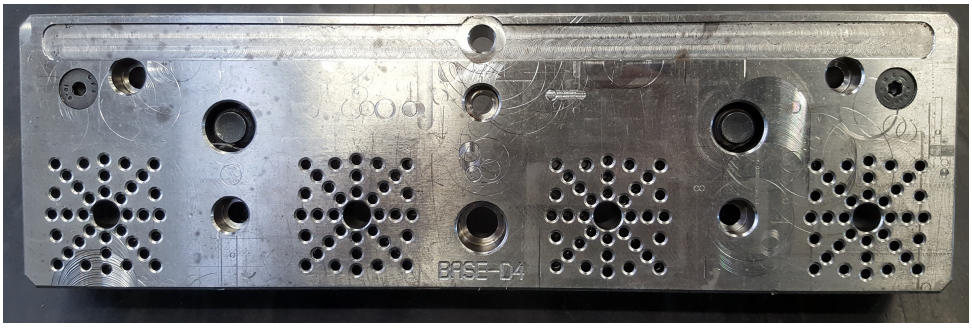


Figura 3.11: Palete de fixação dos postiços.

3.5 Casos de estudo

A escolha dos ensaios a realizar teve como base principal a geometria dos postiços, mas também se teve em consideração a altura e superfícies (superfícies de ajustamento, gravação e de folga) dos mesmos.

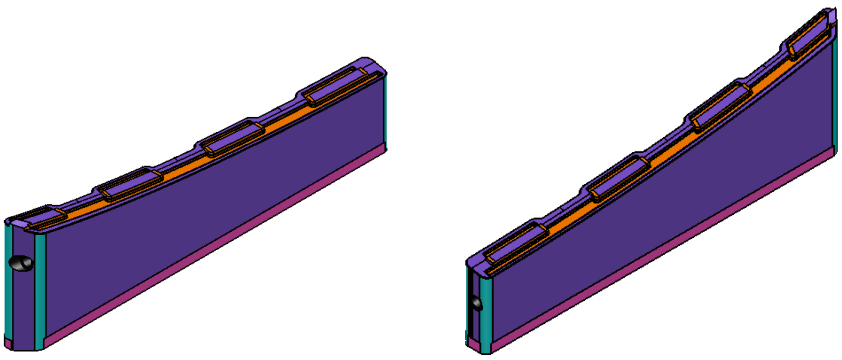
Assim, foram identificados alguns tipos de postiços e estudou-se o seu tempo de maquinagem em função da estratégia adotada.

A estratégia de maquinagem adotada para todos os postiços em estudo consiste basicamente em fazer um desbaste de planos e desbaste de contorno, seguidos do seu acabamento, respetivamente. De seguida, procede-se à furação, se necessário, como também ao escareamento e a roscagem. Por fim, nas superfícies de gravação e ajustamento, opta-se por várias etapas de acabamento, estas sempre reduzindo o diâmetro e raio da ferramenta, concluindo o processo de maquinagem com uma redução de raios com uma fresa mais pequena e um pencil para retirar material excessivo que possa ter ficado. No Anexo D está detalhado todo o processo de maquinagem para cada caso de estudo, estando os desenhos 2D no Anexo C.

3.5.1 Palete 14_15 - 5 eixos posicionais

Palete 14_15 Primeiro aperto - 5 eixos posicionais

O primeiro caso recai sobre a maquinagem de dois postiços da cavidade, o postiço SA7968_100B e o postiço SA7968_100E, ilustrados na Figura 3.12. Estes têm a característica de serem em aço 1.2344, ou seja, têm uma elevada dureza.



(a) Postiço da cavidade SA7968_100B.

(b) Postiço da cavidade SA7968_100E.

Figura 3.12: Postiços da palete 14_15.

Para a maquinagem destes postiços, escolheu-se as seguintes paletes para sua fixação (Figura 3.13).

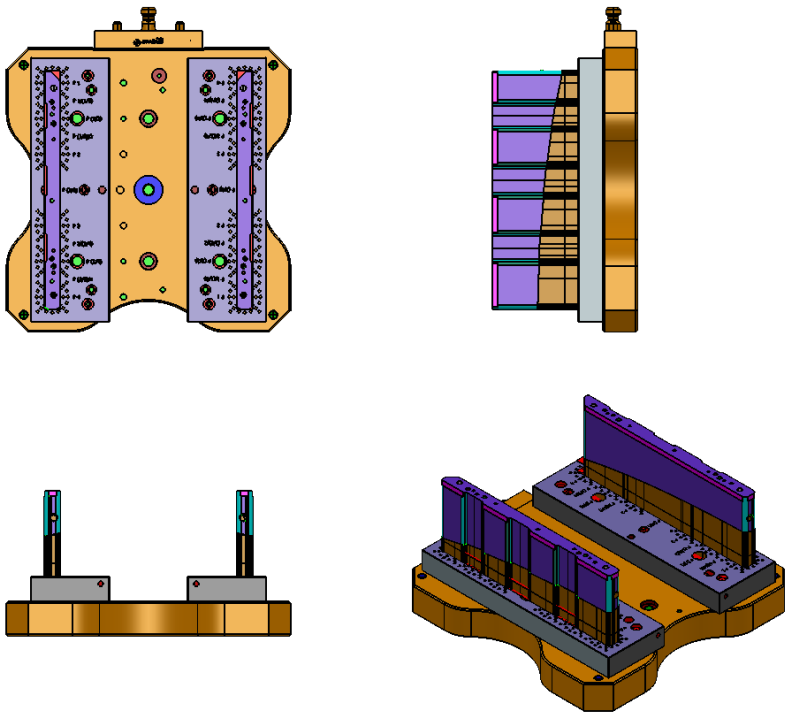


Figura 3.13: Palete 14_15 AP1.

De modo geral, o processo de maquinagem para este primeiro aperto passa pelas seguintes etapas (Tabela 3.11), estando no anexo D.1.1, o processo detalhado.

Tabela 3.11: Processo de maquinagem dos postiços SA7968_100B e SA7968_100E - Primeiro aperto.

Ordem	Operação	Estratégia	Plano de trabalho
1	Desbaste de planos	Desbaste de camada	DMU60
2	Pré contorno 1	Acabamento Z constante	Y15
3	Pré contorno 2	Acabamento Z constante	Y-15
4	Acabamento planos	Desbaste de camada	DMU60
5	Acabamento de mestras	Acabamento Z constante	DMU60
6	Acabamento contorno 1	Acabamento raster	Y15
7	Acabamento contorno 2	Acabamento raster	Y-15
8	Furação ϕ 6 mm	Furação picote simples	DMU60
9	Escarear furo ϕ 6 mm	Furação picote simples	DMU60
10	Redesbaste lateral	Desbaste resíduo do modelo	Y90
11	Acabamento lateral	Desbaste de camada	Y90
12	Acabamento raios lateral	Acabamento raster	Y90
13	Redesbaste lateral	Desbaste resíduo do modelo	Y-90
14	Acabamento lateral	Desbaste de camada	Y90
15	Acabamento raios lateral	Acabamento raster	Y90

O plano de trabalho DMU60 é o plano de trabalho principal, pelo que os programas são sempre pós-processados neste plano. Sobre este, aplicar-se-á todas as rotações necessárias para uma maquinagem efetiva dos postiços em questão. De referir, que estas rotações representam as rotações introduzidas no *software PowerMill* e que não correspondem às rotações reais realizadas pela máquina de forma a obter a posição desejada.

Como já referido, começa-se por fazer um desbaste/pré de planos e contorno, seguido do seu respetivo acabamento. Como os postiços apresentam uma altura de 101 mm, e a ferramenta utilizada não tem altura suficiente para maquinar todo o contorno, opta-se por criar um plano rodado $15°/-15°$ face ao eixo Y do plano principal DMU60. Criaram-se estes dois planos de trabalho, apenas para pré acabamento e acabamento da superfície lateral interior dos postiços. Para as paredes laterais exteriores, rodou-se o eixo Y em $90°/-90°$, dado que neste caso não há o risco de o postiços embater no cone da máquina CNC. Nestes planos, fez-se o redesbaste e acabamento lateral das respetivas superfícies, terminando o processo com o acabamento dos raios laterais.

Palete 14_15 segundo aperto - 5 eixos posicionais

O segundo aperto destes postiços consiste em maquinar a gravação dos mesmos. Assim, para este aperto escolheram-se as seguintes paletes para sua fixação (Figura 3.14).

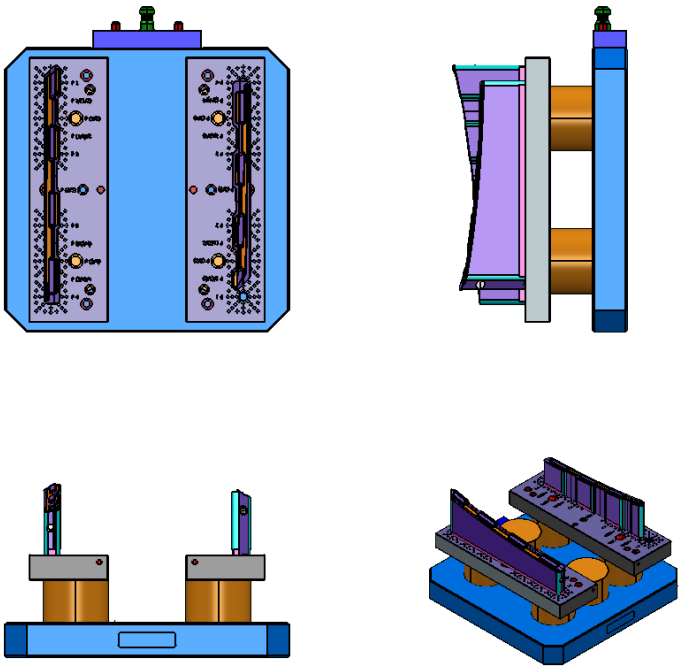


Figura 3.14: Palete 14_15 AP2.

A escolha deste conjunto de paletes passa por ser necessária exatidão no acabamento da gravação, sendo por isso usados *chucks* (ver Figura 3.15) para garantir exatidão entre a base de alumínio e as paletes internas dos postiços.

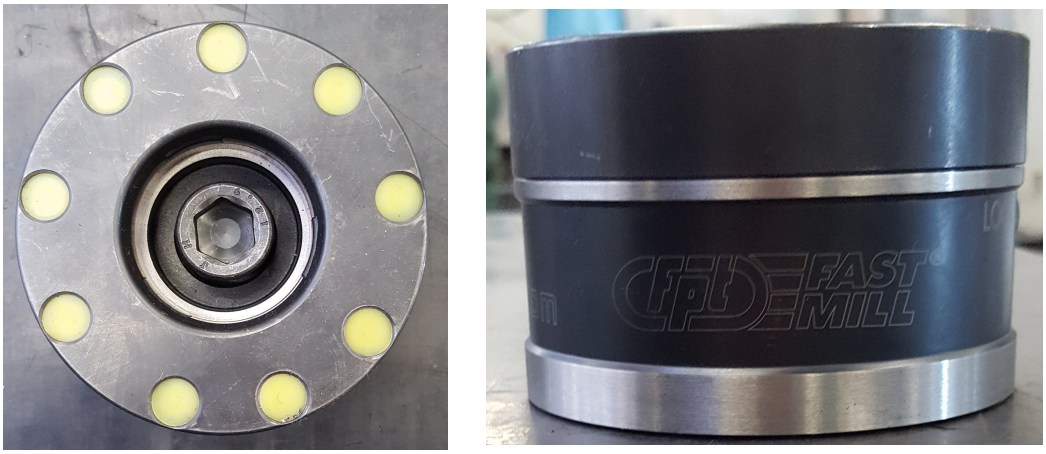


Figura 3.15: *Chucks.*

De um modo geral, o processo de maquinagem para este segundo aperto passa pelas seguintes etapas (Tabela 3.12), estando no anexo D.1.2, o processo detalhado.

Tabela 3.12: Processo de maquinagem do postiço SA7968_100B e SA7968_100E - Segundo aperto.

Ordem	Operação	Estratégia	Plano de trabalho
1	Desbaste planos	Desbaste do modelo	DMU60
2	Desbaste planos 1	Acabamento Z Constante	DMU60
3	Redesbaste planos	Desbaste do resíduo do modelo	DMU60
4	Pré planos	Desbaste do resíduo do modelo	DMU60
5	Redução pré planos	Acabamento Z constante	DMU60
6	Redução pré planos 1	Acabamento Z constante	DMU60
7	Pré gravação	Acabamento raster	DMU60
8	Acabamento gravação 1	Acabamento raster	DMU60
9	Redução raios	Acabamento Z constante	DMU60
10	Acabamento gravação 1	Acabamento raster	DMU60
11	Pencil gravação	Acabamento de cantos pencil	DMU60
12	Acabamento redução de raios	Acabamento 3D offset	DMU60
13	Pencil redução de raios	Acabamento de cantos pencil	DMU60

Neste aperto, como a finalidade é maquinar a gravação, não há a necessidade de criar planos de trabalho rodados face ao plano de trabalho DMU60, sendo por isso que todas as etapas de maquinagem são realizadas sobre o plano principal de trabalho.

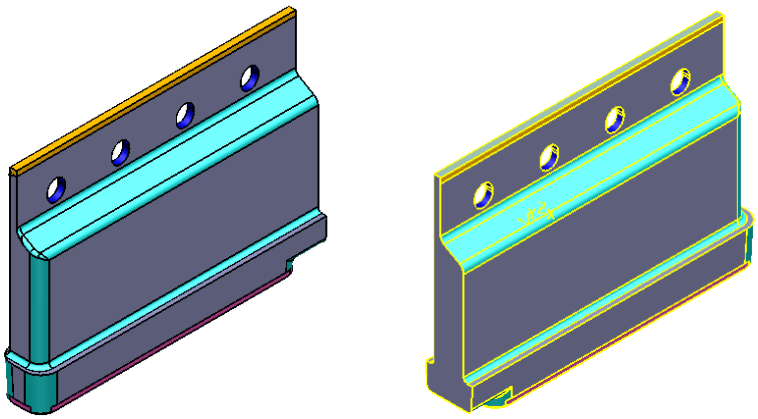
Estas etapas de maquinagem não fogem à linha de pensamento adotado para todos os postiços. Assim, começa-se por um desbaste, redesbaste e pré de planos, finalizando com o acabamento e redução de raios nas gravações dos postiços.

3.5.2 Palete 91_92 - 5 eixos posicionais

Palete 91_92 Primeiro aperto - 5 eixos posicionais

Este caso tem a particularidade de se tratarem de dois levantadores SA7982_700A3 e SA7982_700A4, havendo a necessidade destes serem em AMPOCOLOY 944. A decisão

de ser feito neste material deve-se ao facto de ser uma zona no macho com elevada temperatura, sendo que estes têm a obrigação de dissipar uma grande quantidade de calor num curto espaço de tempo. A Figura 3.16 ilustra os dois levantadores a ser maquinados.



(a) Levantador SA7982_700A3. (b) Levantador SA7982_700A4.

Figura 3.16: Levantadores.

Devido ao facto de estes terem uma grande dimensão em Z, pois apresentam uma altura de 247 mm, opta-se pela seguinte configuração de paletes para fixação destes levantadores (Figura 3.17). Esta escolha tem como objetivo eliminar a possibilidade de haver fim de curso nos três eixos lineares (XYZ) do equipamento CNC. Para a maquinagem destes postiços escolheram-se as seguintes paletes para a sua fixação (Figura 3.17).

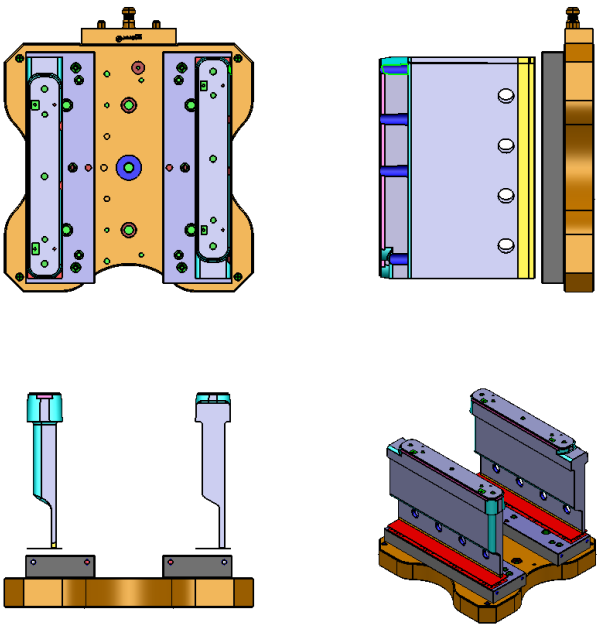


Figura 3.17: Palete 91_92 AP1.

De modo geral, o processo de maquinagem para este primeiro aperto passa pelas seguintes etapas (Tabela 3.13), estando no anexo D.2.1, o processo detalhado.

Tabela 3.13: Processo de maquinagem dos levantadores SA7982_700A3 e SA7982_700A4 - Primeiro aperto.

Ordem	Operação	Estratégia	Plano de trabalho
1	Desbaste de planos	Desbaste de camada	DMU60
2	Desbaste	Acabamento Z constante	DMU60
3	Pré Contorno	Acabamento Z constante	DMU60
4	Pré planos	Desbaste de camada	DMU60
5	Acabamento contorno	Acabamento Z constante	DMU60
6	Acabamento planos	Desbaste de camada	DMU60
7	Redução folga	Acabamento Z constante	DMU60
8	Furação ϕ 4 mm	Furação picote simples	DMU60
9	Escarear furo ϕ 4 mm	Furação picote simples	DMU60
10	Redesbaste X-90Z180	Desbaste de resíduo do modelo	X-90Z180
11	Pré Plano X-90Z180	Desbaste de camada	X-90Z180
12	Acabamento Plano X-90Z180	Desbaste de camada	X-90Z180
13	Redesbaste X-90	Desbaste de resíduo do modelo	X-90
14	Pré Plano X-90	Desbaste de camada	X-90
15	Acabamento Plano X-90	Desbaste de camada	X-90

A abordagem de maquinagem para estes levantadores, tendo em consideração a sua altura, passa pelas superfícies de contorno serem maquinadas por fresagem frontal e não de contorno. Sendo assim, aplica-se as rotações necessárias para que tal aconteça. De referir que neste aperto apenas é maquinado 1/3 da peça, ou seja, a zona de ajustamento, pois a geometria do levantador não permite que se maquine as quatro faces laterais (superfícies de folga). Assim, neste aperto apenas são maquinadas todas as superfícies planas e a zona de ajustamento, visto que a ferramenta utilizada tem altura suficiente para a sua maquinagem total.

Palete 92 Segundo aperto - 5 eixos posicionais

O segundo aperto de cada levantador é feito em paletes individuais, isto porque, caso contrário, não se conseguiria maquinar todas as faces do levantador. Assim, opta-se pela seguinte configuração de paletes para a sua fixação (Figura 3.18).

O processo de maquinagem para este segundo aperto do levantador passa pelas seguintes etapas (Tabela 3.14), estando no anexo D.2.2, o processo detalhado.

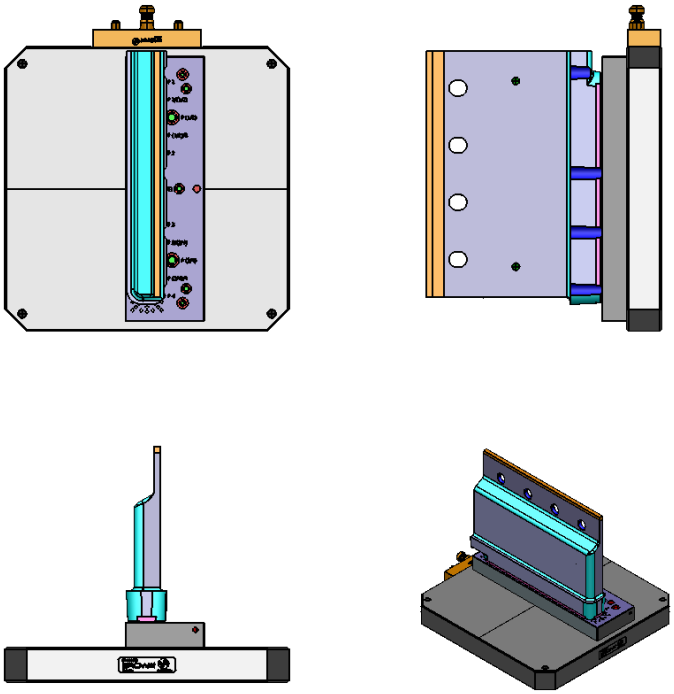


Figura 3.18: Palete 92 AP2.

Tabela 3.14: Processo de maquinagem do levantador SA7982_700A4 - Segundo aperto.

Ordem	Operação	Estratégia	Plano de trabalho
1	Redesbaste	Desbaste de resíduo de modelo	Y90
2	Furação M12 Y90	Furação picote simples	Y90
3	Escarear furo M12 Y90	Furação picote simples	Y90
4	Roscar furo M12 Y90	Furação picote simples	Y90
5	Desbaste de planos	Desbaste de camada	DMU60
6	Pré contorno	Desbaste de camada	DMU60
7	Pré planos	Desbaste de camada	DMU60
8	Acabamento contorno	Acabamento Z constante	DMU60
9	Acabamento planos	Desbaste de camada	DMU60
10	Redesbaste planos Y90	Desbaste de resíduo de modelo	Y90
11	Acabamento folga Y90	Acabamento Z constante	Y90
12	Pré planos Y90	Desbaste de camada	Y90
13	Acabamento planos Y90	Desbaste de camada	Y90
14	Pré furos folga Y90	Acabamento Z constante	Y90
15	Acabamento furos folga Y90	Acabamento Z constante	Y90
16	Redesbaste planos Y-90	Desbaste de resíduo de modelo	Y-90
17	Acabamento folga Y-90	Acabamento Z constante	Y-90
18	Pré planos Y-90	Desbaste de camada	Y-90
19	Acabamento planos Y-90	Desbaste de camada	Y-90
20	Redesbaste X-90	Desbaste de resíduo de modelo	X-90
21	Pré CTZ X-90	Acabamento Z constante	X-90
22	Pré CP X-90	Acabamento raster	X-90
23	Acabamento X-90	Acabamento raster	X-90

A estratégia de maquinagem neste segundo aperto é a mesma que a estratégia utilizada no primeiro aperto. A ideia, é então, adotar a fresagem lateral, sempre que a ferramenta não tem altura suficiente para determinadas superfícies laterais, onde se adota a fresagem de contorno. Neste caso em particular, em vez de se fazer primeiro o desbaste seguido de pré-acabamento e furação, decidiu-se inverter esta ordem, dado o facto de a furação ser feita ao baixo, ou seja, como a peça ainda não foi totalmente desbastada, há maior robustez nesta, o que causa menores vibrações e, por consequinte que a broca não parta ou o furo se desvie. Assim, é necessário inicialmente dar uma rotação de 90° ao eixo X do plano de trabalho principal.

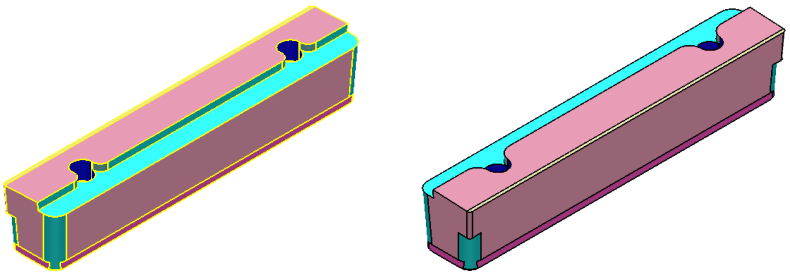
Após esta primeira fase, procede-se à fase de desbaste, pré-acabamento e acabamento, fazendo sempre as rotações necessárias, de forma a completar totalmente a maquinagem do levantador.

3.5.3 Palete 112_113 - 5 eixos posicionais e contínuos

Palete 112_113 primeiro aperto - 5 eixos posicionais

Neste caso de estudo, a particularidade está na sua geometria, pois estes dois postiços de levantador SA7978_540 e SA7978_542, têm a caraterística de as superfícies laterais não apresentarem entalhes, fazendo com que seja possível aplicar uma estratégia de 5 eixos contínuos. Assim, nestes postiços, não só se maquinou os mesmos utilizando estratégias de 5 eixos posicionais, mas também com estratégias de 5 eixos contínuos. Estes dois postiços são em aço 1.2738, sendo este o mais adotado para este tipo de postiços.

A Figura 3.19 ilustra os dois postiços de levantador a ser maquinados.



(a) Postiços de levantador SA7978_540.

(b) Postiços de levantador SA7978_542.

Figura 3.19: Postiços de levantador.

Tendo em consideração a geometria destes postiços, opta-se pela seguinte configuração de paletes para a sua fixação (Figura 3.20).

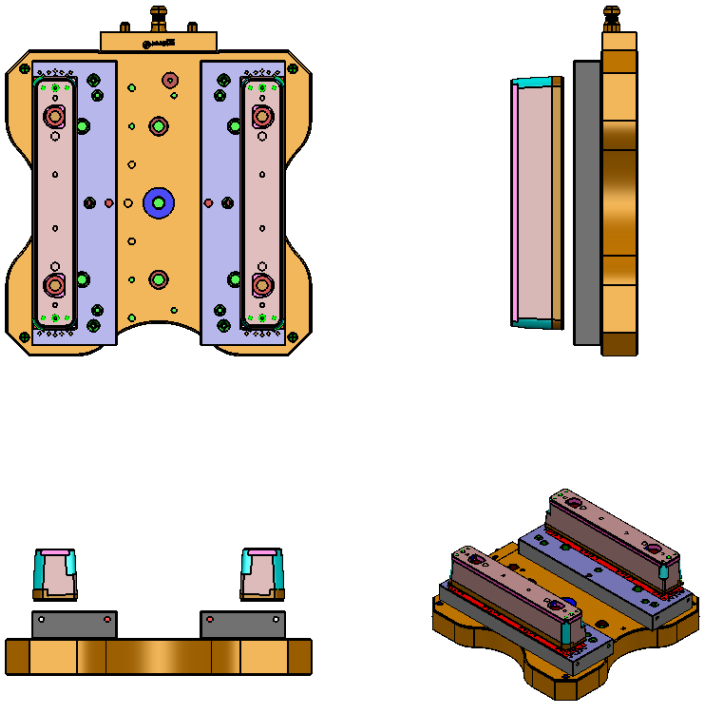


Figura 3.20: Palete 112_113 AP1 - 5 eixos posicionais.

De modo geral, o processo de maquinagem para este primeiro aperto em 5 eixos posicionais passa pelas seguintes etapas (Tabela 3.15), estando no anexo D.3.1, o processo detalhado.

Tabela 3.15: Processo de maquinagem dos postiços de levantador SA7978_540 e SA7978_542 - Primeiro aperto - 5 eixos posicionais.

Ordem	Operação	Estratégia	Plano de trabalho
1	Desbaste de planos	Desbaste de camada	DMU60
2	Pré contorno	Acabamento Z constante	DMU60
3	Pré planos	Desbaste de camada	DMU60
4	Acabamento contorno	Acabamento Z constante	DMU60
5	Acabamento planos	Desbaste de camada	DMU60
6	Furação taco	Furação picote simples	DMU60
7	Furação ϕ 4 mm	Furação picote simples	DMU60
8	Escarear furo ϕ 4 mm	Furação picote simples	DMU60
9	Furação M10	Furação picote simples	DMU60
10	Escarear furo M10	Furação picote simples	DMU60
11	Roscar furo M10	Fresagem de rosca	DMU60
12	Desbaste veios	Desbaste do modelo	DMU60
13	Acabamento cabeça veios	Acabamento Z constante	DMU60
14	Pré veios	Acabamento Z constante	DMU60
15	Acabamento fundo cabeça veios	Desbaste de camada	DMU60
16	Acabamento fundo veios	Desbaste de camada	DMU60

Por se tratar de postiços com uma geometria relativamente simples, não há a necessidade de se criar planos de trabalho secundários, sendo que todas as estratégias de maquinagem são realizadas no plano de trabalho principal. Pode-se dividir estas etapas de maquinagem em três fases, sendo estas: desbaste, pré e acabamento das superfícies de topo e lateral, furação, e por último o desbaste, pré e acabamento dos veios. Opta-se por esta sequência de maquinagem, pelo facto de se ganhar tempo de maquinagem, porque quando é feito o desbaste dos veios, houve a realização de um furo para que fosse possível tal operação (desbaste de veios).

Palete 112_113 primeiro aperto - 5 eixos contínuos

Neste caso, é introduzida uma estratégia de 5 eixos contínuos (*swarf*), para dar pré e acabamento em contorno das superfícies laterais. É apenas nesta operação que reside a diferença deste caso de estudo para o anterior. Assim, estes postiços são uma cópia dos anteriores, sendo que as paletes de fixação também são iguais ao caso anterior, de forma a tornar o processo envolvente igual em ambos os casos.

Com a nova introdução da estratégia de maquinagem, o processo de maquinagem passa pelas seguintes etapas (Tabela 3.16), estando no anexo D.3.2, o processo detalhado.

Tabela 3.16: Processo de maquinagem dos postiços de levantador SA7978_540 e SA7978_542 - Primeiro aperto - 5 eixos contínuos.

Ordem	Operação	Estratégia	Plano de trabalho
1	Desbaste de planos	Desbaste de camada	DMU60
2	Pré contorno	Acabamento Z constante	DMU60
3	Pré planos	Desbaste de camada	DMU60
4	Cortar mestras	Acabamento Z constante	DMU60
5	Pré contorno swarf	Acabamento swarf	DMU60
6	Acabamento contorno swarf	Acabamento swarf	DMU60
7	Acabamento planos	Desbaste de camada	DMU60
8	Furação taco	Furação picote simples	DMU60
9	Furação ϕ 4 mm	Furação picote simples	DMU60
10	Escarear furo ϕ 4 mm	Furação picote simples	DMU60
11	Furação M10	Furação picote simples	DMU60
12	Escarear furo M10	Furação picote simples	DMU60
13	Roscar furo M10	Fresagem de rosca	DMU60
14	Desbaste veios	Desbaste do modelo	DMU60
15	Acabamento cabeça veios	Acabamento Z constante	DMU60
16	Pré veios	Acabamento Z constante	DMU60
17	Acabamento fundo cabeça veios	Desbaste de camada	DMU60
18	Acabamento fundo veios	Desbaste de camada	DMU60

Apesar de se ter introduzido esta estratégia de 5 eixos contínuos, neste caso, também se identifica as mesmas três fases mencionadas no caso anterior: desbaste, pré e acabamento das superfícies de topo e lateral, furação, e por último o desbaste, pré e acabamento dos veios. A diferença está que o pré contorno e o acabamento são agora realizados com a estratégia *swarf*.

3.5.4 Palete 176_180_181_182_183 - 5 eixos posicionais

Este caso de estudo, tem um enorme interesse, visto que, derivado a muitos dos postiços terem dimensões e geometrias idênticas, o que leva a operações de maquinagem iguais, opta-se por os identificar e desenvolver uma palete para que consiga fixar o maior número possível de postiços. Assim, desta forma consegue-se poupar tempo tanto a nível de programação, como de *setup* e ainda de maquinagem.

A Figura 3.21, ilustra uma palete desenvolvida, capaz de fixar no máximo trinta postiços de pequeno porte.

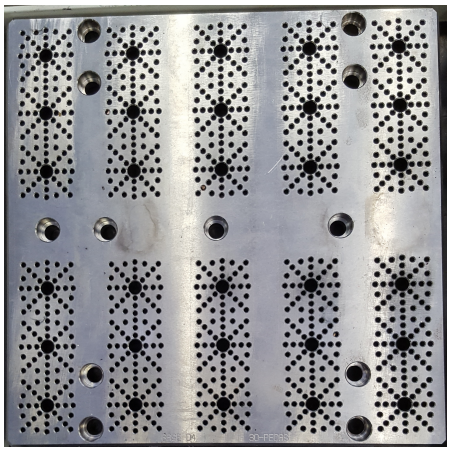
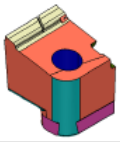
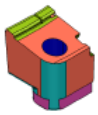
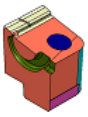
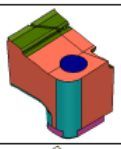
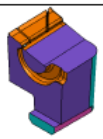
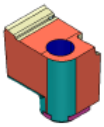
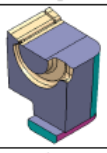
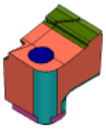


Figura 3.21: Palete capaz de albergar 30 Postiços.

Contudo, o número de postiços que esta palete irá fixar está condicionado à dimensão dos mesmos, assim como às operações de maquinagem e à ferramenta utilizada.

Assim, neste caso foram identificados vinte postiços idênticos, no qual se consegue maquiná-los em apenas três apertos. Os postiços em questão são postiços da cavidade e postiços de levantador. A Tabela 3.17, demonstra todos os postiços envolvidos neste caso, sendo que os desenhos 2D estão dispostos no Anexo C.

Tabela 3.17: Seleção de postiços para Palete capaz de albergar 30 postiços.

Designação do postiço	Imagem	Designação do postiço	Imagem	Designação do postiço	Imagem
SA7972_200I		SA7972_200K		SA7973_200I	
SA7973_200K		SA7974_540A		SA7974_540B	
SA7974_541A		SA7974_541B		SA7975_540A	

Designação do postiço	Imagem	Designação do postiço	Imagem	Designação do postiço	Imagem
SA7975_540B		SA7975_541A		SA7975_541B	
SA7977_546		SA7977_547		SA7977_549	
SA7977_550		SA7979_200A		SA7979_200B	
SA7979_200C		SA7979_200D		SA7979_200D	

Para a maquinagem a 5 eixos posicionais, necessitou-se de três apertos, os quais são descritos a seguir.

Palete 176_180_181_182_183 - primeiro aperto - 5 eixos posicionais

Neste primeiro aperto, opta-se pela seguinte configuração de paletes para sua fixação (Figura 3.22).

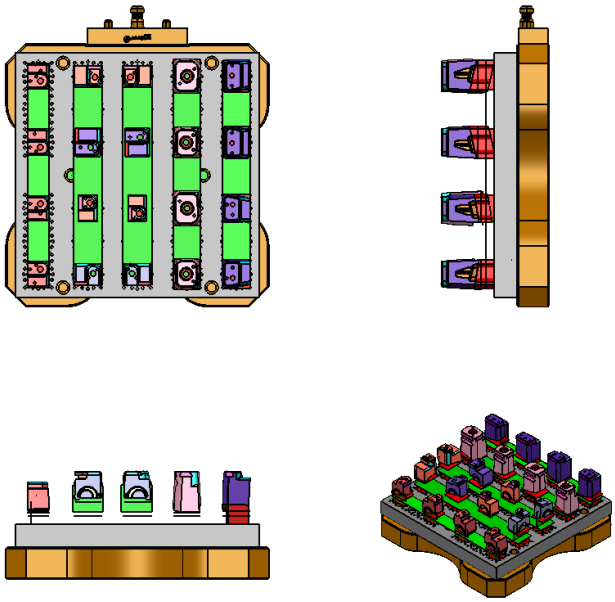


Figura 3.22: Palete 176_180_181_182_183 AP1 - 5 eixos posicionais.

Na Tabela 3.18, está representado de um modo geral todo o processo de maquinagem para este primeiro aperto em 5 eixos posicionais, sendo que no anexo D.4 estão todas as etapas de maquinagem detalhadas.

As estratégias de maquinagem adotadas para este caso, passam por maquinagem frontal e de contorno, não esquecendo também a furação. Assim, realiza-se primeiro todas as operações no plano de trabalho principal, fazendo de seguida todas as rotações necessárias para que nesse plano se possa maquinar as quatro laterais das paletes. É por este motivo que as gravações dos postiços ficaram voltadas para fora, para que tal seja possível de se maquinar.

Assim, mais uma vez, a linha de estratégia a adotar passa, como já referido, por desbastar, pré acabar e acabar os planos e os contornos possíveis. De seguida, faz-se a furação necessária e procede-se ao acabamento nas gravações dos postiços, resultando em várias rotações que se aplicam ao plano de trabalho principal.

Tabela 3.18: Processo de maquinagem dos postiços de levantador e postiços da cavidade - Primeiro aperto.

Ordem	Operação	Estratégia	Plano de trabalho
1	Desbaste de planos	Desbaste de camada	DMU60
2	Pré contorno	Acabamento Z constante	DMU60
3	Pré planos	Desbaste de camada	DMU60
4	Acabamento contorno	Acabamento Z constante	DMU60
5	Acabamento planos	Desbaste de camada	DMU60
6	Acertar planos cavilhas	Furação helicoidal	DMU60
7	Furação ϕ 4 mm	Furação picote simples	DMU60
8	Escarear furo ϕ 4 mm	Furação picote simples	DMU60
9	Furação M8	Furação picote simples	DMU60
10	Escarear M8	Furação picote simples	DMU60
11	Roscar M8	Fresagem de rosca	DMU60
12	Furação M10	Furação picote simples	DMU60
13	Furação ϕ 9 mm	Furação picote simples	DMU60
14	Escarear M10	Furação picote simples	DMU60
15	Roscar M10	Fresagem de rosca	DMU60
16	Desbaste de veios	Acabamento Z constante	DMU60
17	Acabamento cabeça de veios	Acabamento Z constante	DMU60
18	Pré veios	Acabamento Z constante	DMU60
19	Acabamento fundo veios	Acabamento de cantos pencil	DMU60
20	Acabamento fundo cabeça veios	Acabamento de cantos pencil	DMU60
21	Desbaste 1	Desbaste do modelo	X180Y87Z180
22	Pré planos 1	Desbaste de camada	X180Y87Z180
23	Acabamento planos 1	Desbaste de camada	X180Y87Z180
24	Redesbaste frisos CTZ	Acabamento Z constante	X180Y87Z180
25	Pré frisos CTZ	Acabamento Z constante	X180Y87Z180
26	Pré frisos CP	Acabamento raster	X180Y87Z180
27	Acabamento frisos CP	Acabamento 3D offset	X180Y87Z180
28	Pencil frisos	Acabamento de cantos pencil	X180Y87Z180
29	Desbaste Bayer 1	Desbaste do modelo	Y-90
30	Pré Bayer CTZ 1	Acabamento Z constante	Y-90

Ordem	Operação	Estratégia	Plano de trabalho
31	Pré Bayer 3D 1	Acabamento 3D offset	Y-90
32	Acabamento Bayer 1	Acabamento 3D offset	Y-90
33	Acabamento Bayer 1.1	Acabamento Z constante	Y-90
34	Acabamento fundo Bayer 1	Acabamento raster	Y-90
35	Desbaste Bayer 2	Desbaste do modelo	X-90Z180
36	Acabamento lateral	Acabamento Z constante	X-90Z180
37	Pré planos 2	Desbaste de camada	X-90Z180
38	Acabamento planos 2	Desbaste de camada	X-90Z180
39	Pré Bayer CTZ 2	Acabamento Z constante	X-90Z180
40	Pré Bayer 3D 2	Acabamento 3D offset	X-90Z180
41	Acabamento Bayer 2	Acabamento 3D offset	X-90Z180
42	Acabamento Bayer 2.1	Acabamento Z constante	X-90Z180
43	Acabamento fundo Bayer 2	Acabamento raster	X-90Z180
44	Desbaste Bayer 3	Desbaste do modelo	X-90
45	Pré Bayer CTZ 3	Acabamento Z constante	X-90
46	Pré Bayer 3D 3	Acabamento 3D offset	X-90
47	Acabamento Bayer 3	Acabamento 3D offset	X-90
49	Acabamento Bayer 3.1	Acabamento Z constante	X-90
50	Acabamento fundo Bayer 3	Acabamento raster	X-90

Palete 176_180_181_182_183 - segundo aperto - 5 eixos posicionais

O segundo aperto, consiste em retirar os oito postiços que estão nas laterais, conforme ilustra a Figura 3.23).

De realçar que apenas se retirou estes oito postiços, pois só estes é que estavam totalmente maquinados no primeiro aperto. Como se verifica na figura abaixo, ainda há postiços com gravações por maquinar, visto que no primeiro aperto tal operação não era possível.

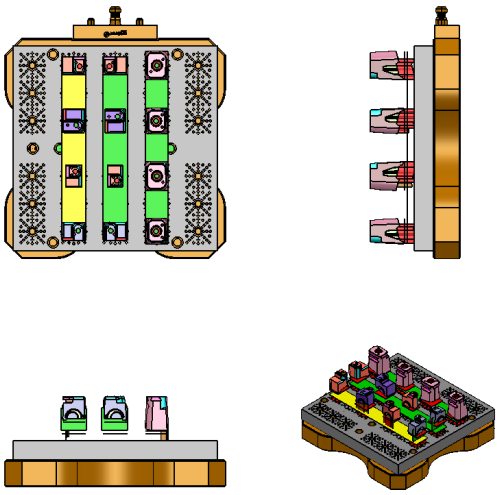


Figura 3.23: Palete 176_180_181_182_183 AP2 - 5 eixos posicionais.

Assim, visto que a maior parte das operações de maquinagem foram realizadas no primeiro aperto, na Tabela 3.19, está representado de modo geral todo o processo de maquinagem para este segundo aperto em 5 eixos posicionais, sendo que no anexo D.4 estão todas as etapas de maquinagem detalhadas.

Tabela 3.19: Processo de maquinagem dos postiços de levantador e postiços da cavidade - segundo aperto.

Ordem	Operação	Estratégia	Plano de trabalho
1	Desbaste porta agrafos	Desbaste do modelo	Y90
2	Pré porta agrafos CTZ	Acabamento Z constante	Y90
3	Pré porta agrafos CP	Acabamento raster	Y90
4	Redução de raios porta agrafos	Acabamento Z constante)	Y90
5	Acabamento porta agrafos	Acabamento raster	Y90
6	Pencil porta agrafos	Acabamento de canto pencil	Y90
7	Desbaste planos	Desbaste do modelo	Y-90
8	Desbaste bayer	Desbaste do modelo	Y-90
9	Acabamento lateral	Acabamento Z constante	Y-90
10	Acabamento plano	Desbaste de camada	Y-90
11	Pré Bayer CTZ	Acabamento Z constante	Y-90
12	Pré Bayer 3D	Acabamento 3D offset	Y-90
13	Acabamento Bayer 3D	Acabamento 3D offset	Y-90
14	Acabamento Bayer	Acabamento Z constante	Y-90

A estratégia neste aperto é igual à do primeiro aperto, e como as laterais e topos dos postiços já foram acabados, este aperto destina-se exclusivamente a acabar as gravações que não foram acabadas. Assim, começa-se por dar rotação ao plano de trabalho principal, para ser possível maquinar uma lateral dos postiços, sendo a outra lateral maquinada posteriormente.

Palete 176_180_181_182_183 - terceiro aperto - 5 eixos posicionais

O terceiro aperto, mais uma vez, consiste em retirar os oito postiços que estão nas laterais, e deslocar os 4 postiços centrais para uma das laterais, isto porque assim não se corre o risco de haver colisão entre cone da ferramenta e mesa da máquina. A Figura 3.24) demonstra então o terceiro e último aperto desta palete.

Assim, o processo de maquinagem para este terceiro aperto em 5 eixos posicionais, consiste em maquinar as gravações dos postiços em falta, sendo que a Tabela 3.19 representa as estapas de maquinagem presentes neste aperto. No anexo D.4 estão todas as etapas de maquinagem detalhadas.

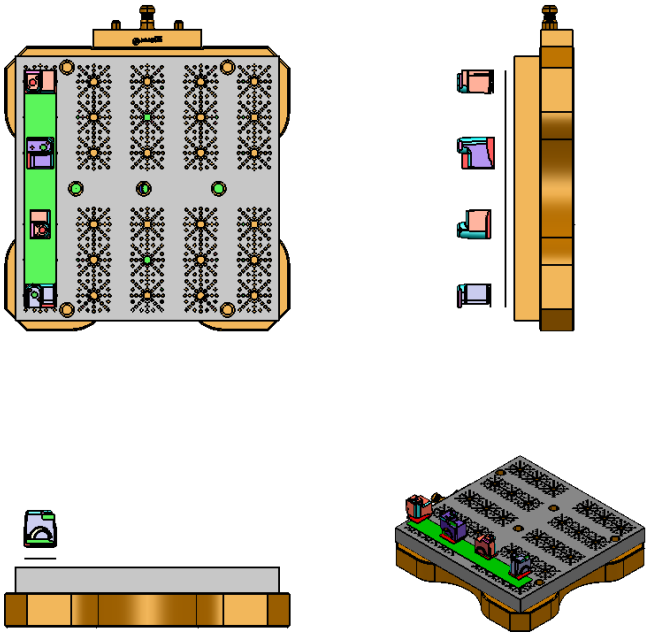


Figura 3.24: Palete 176_180_181_182_183 AP3 - 5 eixos posicionais.

Tabela 3.20: Processo de maquinagem dos postiços de levantador e postiços da cavidade - terceiro aperto.

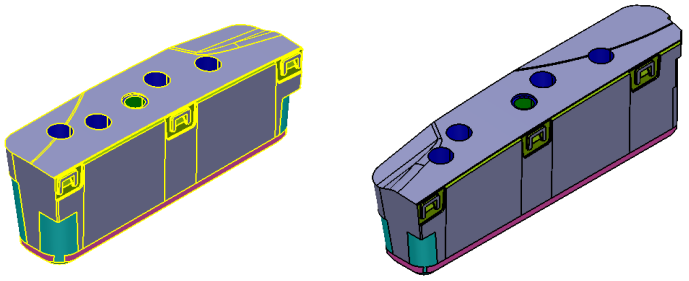
Ordem	Operação	Estratégia	Plano de trabalho
1	Desbaste planos	Desbaste do modelo	Y-90
2	Acabamento lateral	Acabamento Z constante	Y-90
3	Acabamento plano	Desbaste de camada	Y-90
4	Pré Bayer CTZ	Acabamento Z constante	Y-90
5	Pré Bayer 3D	Acabamento 3D offset	Y-90
6	Acabamento Bayer 3D	Acabamento 3D offset	Y-90
7	Acabamento Bayer	Acabamento Z constante	Y-90
8	Acabamento fundo Bayer	Acabamento raster	Y-90

3.5.5 Palete 208_209 - 5 eixos posicionais

Palete 208_209 - primeiro aperto - 5 eixos posicionais

Neste caso de estudo, a particularidade está na sua geometria, pois estes dois levantadores SA7954_508 e SA7954_509, têm a caraterística de as superfícies laterais apresentarem entalhes, fazendo com que seja necessário ter em atenção possíveis colisões que possam acontecer. Estes dois levantadores são em aço 1.2738, estando no anexo C representado o desenho 2D.

A Figura 3.25 ilustra os dois levantadores a serem maquinados.



(a) Levantador SA7954_508. (b) Levantador SA7954_509.

Figura 3.25: Postiços de levantador.

Tendo em consideração a geometria destes postiços, opta-se pela seguinte configuração de paletes para a sua fixação (Figura 3.26), de modo a evitar colisão entre cone da ferramenta e palete/mesa da máquina.

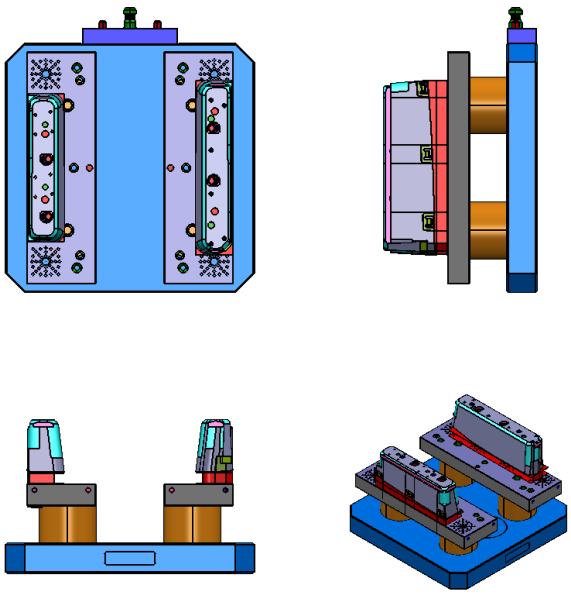


Figura 3.26: Palete 208_209 AP1 - 5 eixos posicionais.

De modo geral, o processo de maquinagem para este primeiro aperto em 5 eixos posicionais passa pelas seguintes etapas (Tabela 3.21), estando no anexo D.5, o processo detalhado.

Tabela 3.21: Processo de maquinagem dos postiços de levantador SA7954_508 e SA7954_509 - Primeiro aperto - 5 eixos posicionais.

Ordem	Operação	Estratégia	Plano de trabalho
1	Desbaste de planos	Desbaste de camada	DMU60
2	Pré contorno	Acabamento Z constante	DMU60
3	Pré planos	Desbaste de camada	DMU60
4	Acabamento contorno	Acabamento Z constante	DMU60
5	Acabamento planos	Desbaste de camada	DMU60
6	Furação ϕ 4 mm	Furação picote simples	DMU60
7	Escarear furo ϕ 4 mm	Furação picote simples	DMU60
8	Furação ϕ 6 mm	Furação picote simples	DMU60
9	Escarear furo ϕ 6 mm	Furação picote simples	DMU60
10	Furação M12	Furação picote simples	DMU60
11	Escarear furo M12	Furação picote simples	DMU60
12	Roscar furo M12	Fresagem de rosca	DMU60
13	Furação M10	Furação picote simples	DMU60
14	Escarear furo M10	Furação picote simples	DMU60
15	Roscar furo M10	Fresagem de rosca	DMU60
16	Furação ϕ 11 mm	Furação picote simples	DMU60
17	Escarear furo ϕ 11 mm	Furação picote simples	DMU60
18	Desbaste gravação Y90	Desbaste do modelo	Y90
19	Pré gravação CTZ Y90	Acabamento Z constante	Y90
20	Pré gravação CP Y90	Acabamento raster	Y90
21	Acabamento gravação Y90	Acabamento 3D offset	Y90
22	Pencil gravação Y90	Acabamento de cantos pencil	Y90
23	Acabamento redução raios gravação Y90	Acabamento 3D offset)	Y90
24	Desbaste Veio Y5	Acabamento Z constante	Y5
25	Acabamento Veio Y5	Acabamento Z constante	Y5
26	Pencil Veio Y5	Acabamento de cantos pencil)	Y5
27	Acabamento faceta Y5	Acabamento Z constante	Y5
28	Pencil faceta Y5	Acabamento de cantos pencil	Y5
29	Furação ϕ 11 mm Y5	Furação picote simples	Y5
30	Desbaste Veio Y-5	Acabamento Z constante	Y-5
31	Acabamento Veio Y-5	Acabamento Z constante	Y-5
32	Pencil Veio Y-5	Acabamento de cantos pencil	Y5
33	Acabamento faceta Y-5	Acabamento Z constante	Y-5
34	Pencil faceta Y-5	Acabamento de cantos pencil	Y-5
35	Furação ϕ 11 mm Y-5	Furação picote simples	Y-5
36	Desbaste gravação Y90Z-90	Desbaste do modelo	Y90Z-90
37	Pré gravação 4x1 Y90Z-90	Acabamento Z constante	Y90Z-90
38	Pré gravação 2x1 Y90Z-90	Acabamento Z constante	Y90Z-90
39	Acabamento gravação Y90Z-90	Acabamento 3D offset	Y90Z-90
40	Pencil gravação Y90Z-90	Acabamento 3D offset	Y90Z-90
41	Desbaste gravação Y-90	Desbaste do modelo	Y-90
42	Pré gravação CTZ Y-90	Acabamento Z constante	Y-90
43	Pré gravação CP Y-90	Acabamento raster	Y-90
44	Acabamento gravação Y-90	Acabamento 3D offset	Y-90
45	Acabamento gravação Y-90	Acabamento de cantos pencil	Y-90
46	Acabamento redução raios gravação Y-90	Acabamento 3D offset	Y-90

Por se tratar de levantadores que têm gravações nas suas laterais, é então importante definir uma linha de estratégia de maquinagem. Assim, começa-se por fazer o desbaste, pré-acabamento e acabamento do topo e lateral dos levantadores. De seguida,

procede-se a toda a furação necessária para os levantadores, e são então dadas as rotações necessárias ao plano principal de trabalho para maquinagem das gravações. Assim, independentemente dessas rotações, as gravações destes levantadores seguem as seguintes etapas: Desbaste da gravação; dois pré-acabamento em que diferem na estratégia, a primeira dada em acabamento de Z constante e a outra em acabamento *raster*; acabamento da gravação; *pencil*; e por último uma redução de raios na gravação.

3.5.6 Palete 230 - 5 eixos posicionais

Palete 230 - primeiro aperto - 5 eixos posicionais

Este caso de estudo, é referente a um postiço do macho SA7990_200R, onde o foco de interesse está na geometria do mesmo. Isto porque, neste postiço há quatro zonas de ajustamento onde é necessário garantir o toleranciamento H7. O material do mesmo é aço 1.2738. Na Figura 3.27, está representado o postiço SA7990_200R, onde as superfícies a cor de rosa representam as zonas de ajustamento.

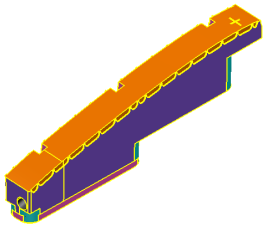


Figura 3.27: Postiço do macho SA7990_200R.

Tendo em consideração a geometria deste postiço, e havendo assim a necessidade de garantir uma zona de ajustamento, opta-se pela seguinte configuração de paletes para a sua fixação (Figura 3.28), de modo a evitar erros de maquinação.

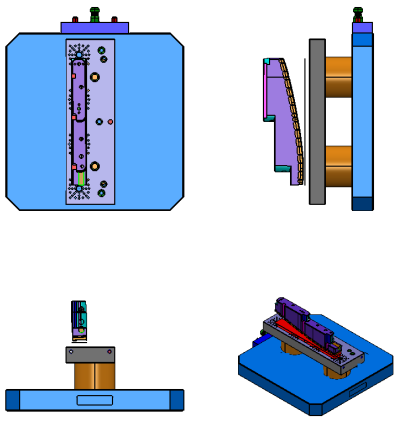


Figura 3.28: Palete 230 AP1 - 5 eixos posicionais.

Na Tabela 3.22, está representado de modo geral todo o processo de maquinagem para este primeiro aperto em 5 eixos posicionais, sendo que no anexo D.6 estão todas as etapas de maquinagem detalhadas.

Tabela 3.22: Processo de maquinagem do postiço do macho SA7990_200R - Primeiro aperto - 5 eixos posicionais.

Ordem	Operação	Estratégia	Plano de trabalho
1	Desbaste de planos	Desbaste de camada	DMU60
2	Pré Contorno	Acabamento Z constante	DMU60
3	Pré Planos	Desbaste de camada	DMU60
4	Acabamento contorno	Acabamento Z constante	DMU60
5	Acabamento Planos	Desbaste de camada	DMU60
6	Furação ϕ 4 mm	Furação picote simples	DMU60
7	Escarear furo cavilha ϕ 4 mm	Furação picote simples	DMU60
8	Furação M8	Furação picote simples	DMU60
9	Escarear furo M8	Furação picote simples	DMU60
10	Roscar furo M8	Fresagem de rosca	DMU60
11	Furação ϕ 8 mm	Furação picote simples	DMU60
12	Acabamento redução de raios	Acabamento Z constante	DMU60
13	Acabamento planos redução de raios	Desbaste de camada	DMU60
14	Desbaste gravação Y90	Desbaste do modelo	Y90
15	Pré gravação CTZ Y90	Acabamento Z constante	Y90
16	Pré gravação CP Y90	Acabamento raster	Y90
17	Acabamento gravação Y90	Acabamento raster	Y90
18	Pencil gravação Y90	Acabamento de cantos pencil	Y90
19	Desbaste gravação Y90Z-90	Desbaste do modelo	Y90Z-90
20	Pré gravação CP Y90Z-90 (1)	Acabamento raster	Y90Z-90
21	Pré gravação CP Y90Z-90 (2)	Acabamento raster	Y90Z-90
22	Acabamento gravação Y90Z-90	Acabamento raster	Y90Z-90
23	Desbaste gravação Y90Z180 6 Desbaste do modelo	Y90Z180	
24	Pré extração Y90Z180	Acabamento Z constante	Y90Z180
25	Acabamento extração Y90Z180	Desbaste de camada	Y90Z180
(25.1)	Acabamento extração Y90Z180	Desbaste de camada	Y90Z180
(25.2)	Acabamento extração Y90Z180	Desbaste de camada	Y90Z180
(25.3)	Acabamento extração Y90Z180	Desbaste de camada	Y90Z180
(25.4)	Acabamento extração Y90Z180	Desbaste de camada	Y90Z180
26	Pré extração Y90Z179.45	Acabamento Z constante	Y90Z179.45
27	Acabamento extração Y90Z179.45	Desbaste de camada	Y90Z179.45
(27.1)	Acabamento extração Y90Z179.45	Desbaste de camada	Y90Z179.45
(27.2)	Acabamento extração Y90Z179.45	Desbaste de camada	Y90Z179.45
(27.3)	Acabamento extração Y90Z179.45	Desbaste de camada	Y90Z179.45
(27.4)	Acabamento extração Y90Z179.45	Desbaste de camada	Y90Z179.45
28	Pré extração Y90Z179.25	Acabamento Z constante	Y90Z179.25
29	Acabamento extração Y90Z179.25	Desbaste de camada	Y90Z179.25
(29.1)	Acabamento extração Y90Z179.25	Desbaste de camada	Y90Z179.25
(29.2)	Acabamento extração Y90Z179.25	Desbaste de camada	Y90Z179.25
(29.3)	Acabamento extração Y90Z179.25	Desbaste de camada	Y90Z179.25
(29.4)	Acabamento extração Y90Z179.25	Desbaste de camada	Y90Z179.25
30	Pré gravação CTZ X180Y85	Acabamento Z contante	X180Y85
31	Pré gravação CP X180Y85	Acabamento raster	X180Y85
31	Acabamento gravação X180Y85	Acabamento raster	X180Y85
32	Pencil gravação X180Y85	Acabamento de cantos pencil	X180Y85

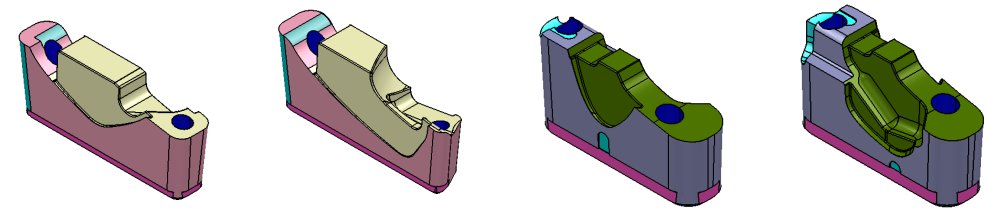
Começa-se então por fazer o desbaste, pré acabamento e acabamento do topo e lateral do postiço, o que vai de encontro às estratégias referidas nos outros casos de estudo. De seguida é feita então a furação e, posteriormente, a do desbaste e acabamento da gravação que se encontra na lateral do postiço. O grande interesse a nível de maquinagem está na fase posterior a estas, onde se faz o acabamento da zona de ajustamento. É importante realçar que, em algumas situações se aplicou uma rotação ao plano de trabalho principal, com um ângulo específico no eixo Z. Isto deve-se ao facto de esta zona de ajustamento

apresentar uma contra-saída na sua superfície. Assim, opta-se por uma estratégia a nível de programação pouco convencional, pois as operações que estão entre parêntesis só são corridas caso não se verifique o H7. Assim, nesta situação é obrigatória a presença do operador na máquina, pois este tem a função de verificar se a superfície está dentro das tolerâncias dimensionais. Caso não se garanta o H7, ou seja, não se respeite a tolerância dimensional, é então passado o primeiro programa entre parêntesis, em que este é igual ao anterior, a nível de estratégia, só que este retirará mais duas centésimas de milímetro à superfície. Uma das causas frequentes de não se respeitar a tolerância dimensional deve-se ao facto de a ferramenta utilizada apresentar já um pouco de desgaste.

3.5.7 Palete 355_357

Neste caso de estudo, opta-se por introduzir estratégias de maquinagem tanto a 5 eixos posicionais como também a 5 eixos contínuos, isto para o segundo aperto dos postiços em questão. Isto deve-se ao facto de se tratarem de postiços da cavidade onde é interessante verificar a utilidade dos 5 eixos contínuos no acabamento das gravações dos mesmos. Assim, maquinaram-se os postiços da cavidade SA7994_100A, SA7994_100B, SA7995_100B e SA7995_102B em apenas dois apertos, sendo que no segundo aperto há a necessidade de o programar tanto a 5 eixos posicionais como 5 eixos contínuos. Por se tratarem de postiços da cavidade, é necessário que estes tenham uma alta resistência ao desgaste, por isso estes são feitos em aço 1.2343.

A Figura 3.29 ilustra os quatro postiços da cavidade a serem maquinados.



(a) SA7994_100A. (b) SA7994_100B. (c) SA7995_100B. (d) SA7995_102B.

Figura 3.29: Postiços da cavidade.

Palete 355_357 - primeiro aperto - 5 eixos posicionais

No primeiro aperto, usa-se apenas estratégias de maquinagem a 5 eixos posicionais, sendo que se opta pela seguinte configuração de paletes para a sua fixação (Figura 3.30).

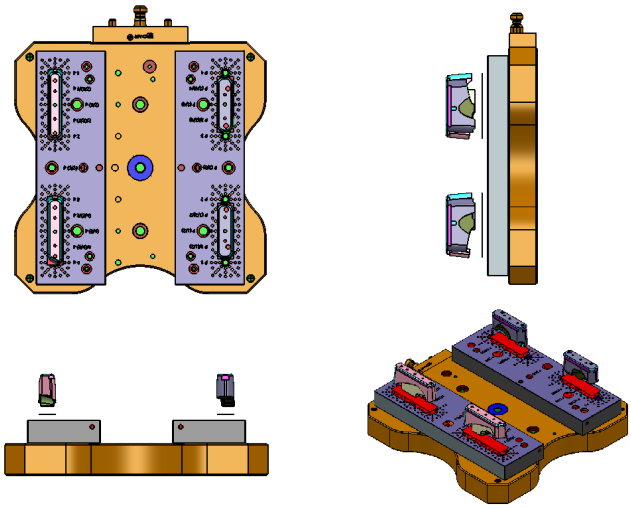


Figura 3.30: Palete 355_357 AP1 - 5 eixos posicionais.

Na Tabela 3.23, está representado, de um modo geral, todo o processo de maquinagem para este primeiro aperto em 5 eixos posicionais, sendo que no anexo D.7.1 estão todas as etapas de maquinagem detalhadas.

Tabela 3.23: Processo de maquinagem dos postiços da cavidade SA7994_100A, SA7994_100B, SA7995_100B e SA7995_102B - primeiro aperto - 5 eixos posicionais.

Ordem	Operação	Estratégia	Plano de trabalho
1	Desbaste de planos	Desbaste de camada	DMU60
2	Pré contorno	Acabamento Z constante	DMU60
3	Pré planos	Desbaste de camada	DMU60
4	Acabamento contorno	Acabamento Z constante	DMU60
5	Acabamento planos	Desbaste de camada	DMU60
6	Furação ϕ 4 mm	Furação picote simples	DMU60
7	Escarear furo ϕ 4 mm	Furação picote simples	DMU60
8	Furação ϕ 7 mm	Furação picote simples	DMU60
9	Escarear furo ϕ 7 mm	Furação picote simples	DMU60
10	Furação M5	Furação picote simples	DMU60
11	Escarear furo M5	Furação picote simples	DMU60
12	Roscar furo M5	Furação picote simples	DMU60
13	Desbaste gravação Y90	Desbaste do modelo	Y90
14	Pré gravação CTZ Y90	Acabamento Z constante	Y90
15	Pré gravação CP Y90	Acabamento raster	Y90
16	Acabamento gravação CP Y90	Acabamento raster	Y90
17	Pencil gravação Y90	Acabamento de cantos pencil	Y90
18	Desbaste gravação Y-90	Desbaste do modelo	Y-90
19	Pre gravação CTZ Y-90	Acabamento Z constante	Y-90
20	Pre gravação CP Y-90	Acabamento raster	Y-90
21	Acabamento gravação CP Y-90	Acabamento raster	Y-90
22	Pencil gravação Y-90	Acabamento de cantos pencil	Y-90

Começa-se então por fazer o desbaste, pré acabamento e acabamento do topo e lateral dos postiços, o que vai de encontro às estratégias referentes nos outros casos de estudo. De seguida, é feita então a furação e, posteriormente, o desbaste e acabamento da gravação que se encontra na lateral dos postiços. Neste caso, maquina-se parte da gravação, ou seja, as laterais dos postiços para os quais se tem acesso, por causa do segundo aperto ser também feito em 5 eixos posicionais, pois se este tivesse sido apenas maquinado em 5 eixos contínuos, neste aperto não seriam necessárias estas etapas de maquinagem para acabamento da gravação.

Palete 355_357 - segundo aperto - 5 eixos posicionais

Para o segundo aperto dos postiços, em 5 eixos posicionais, opta-se pela seguinte configuração de paletes para a sua fixação (Figura 3.31).

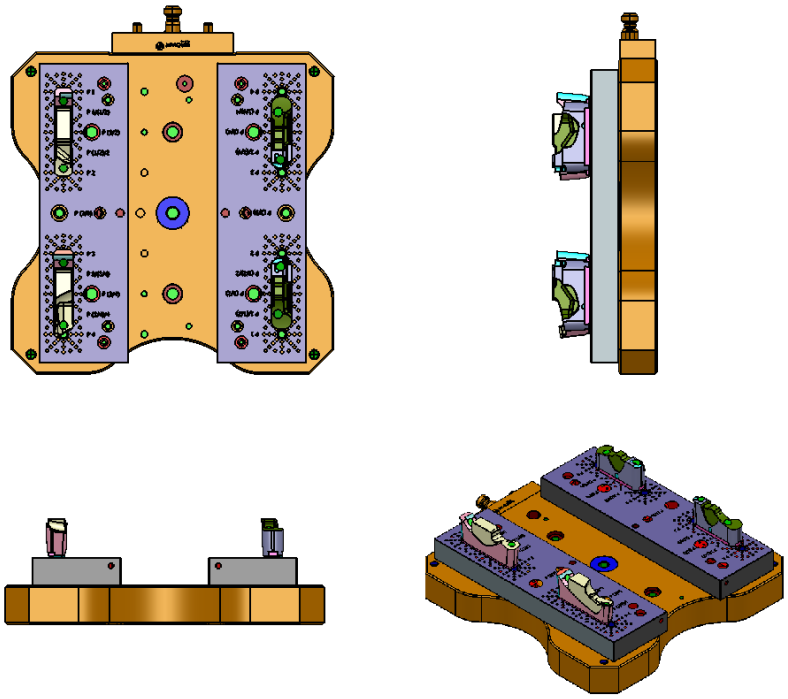


Figura 3.31: Palete 355_357 AP2 - 5 eixos posicionais.

A Tabela 3.24, é um resumo do processo de maquinagem para este segundo aperto em 5 eixos posicionais, sendo que no anexo D.7.2 estão todas as etapas de maquinagem detalhadas.

Tabela 3.24: Processo de maquinagem dos postiços da cavidade SA7994_100A, SA7994_100B, SA7995_100B e SA7995_102B - segundo aperto - 5 eixos posicionais.

Ordem	Operação	Estratégia	Plano de trabalho
1	Desbaste de planos	Desbaste do modelo	DMU60
2	Pré 10x1	Acabamento Z Constante	DMU60
3	Redução 10x1	Acabamento Z Constante	DMU60
4	Pré 6x1	Acabamento Z Constante	DMU60
5	Pré Copia 6x1	Acabamento Raster	DMU60
6	Furação	Furação helicoidal	DMU60
7	Redução Z Pre 4x1	Acabamento Z Constante	DMU60
8	Acabamento	Acabamento Raster	DMU60
9	Acabamento 1	Acabamento Raster	DMU60
10	Acabamento 2	Acabamento Raster	Y15
11	Acabamento 3	Acabamento Raster	Y-15
12	Redução Z Acabamento Pré	Acabamento Z Constante	DMU60
13	Redução Z Acabamento	Acabamento 3D offset	DMU60
14	Pencil	Acabamento de cantos pencil	DMU60
15	Redução Z Acabamento 1	Acabamento 3D offset	Y15
16	Pencil 1	Acabamento de cantos pencil	Y15
17	Redução Z Acabamento 2	Acabamento 3D offset	Y-15
18	Pencil 2	Acabamento de cantos pencil	Y-15
19	Redução Z Acabamento Pré 1	Acabamento Z Constante	X-15
20	Redução Z Acabamento 3	Acabamento 3D offset)	X-15
21	Pencil 3	Acabamento de cantos pencil	X-15

Seguindo a ideologia de maquinagem definida inicialmente, começa-se então por se fazer um desbaste de planos, seguindo-se do pré-acabamento e do acabamento da gravação. Por se tratar de uma gravação que ficará visível na peça de plástico a obter, é de extrema importância que estes fiquem com um bom acabamento superficial, sendo por isso que, tanto o pré-acabamento como o acabamento sejam feitos em várias etapas, reduzindo-se sempre o diâmetro e raio da ferramenta utilizada.

Palete 355_357 - segundo aperto - 5 eixos contínuos

Para este segundo aperto, em 5 eixos contínuos, opta-se pelo mesmo sistema de fixação do caso anterior (sistema de fixação representado na secção 3.5.7). Isto, deve-se ao facto de os resultados a nível de acabamento superficial não serem influenciados pela fixação dos postiços da cavidade, de modo a poder-se fazer uma comparação objetiva e equitativa.

De modo geral, o processo de maquinagem para este segundo aperto passa pelas seguintes etapas (Tabela 3.25), estando no anexo D.7.3 o processo detalhado.

Tabela 3.25: Processo de maquinagem dos postiços da cavidade SA7994_100A, SA7994_100B, SA7995_100B e SA7995_102B - segundo aperto - 5 eixos contínuos.

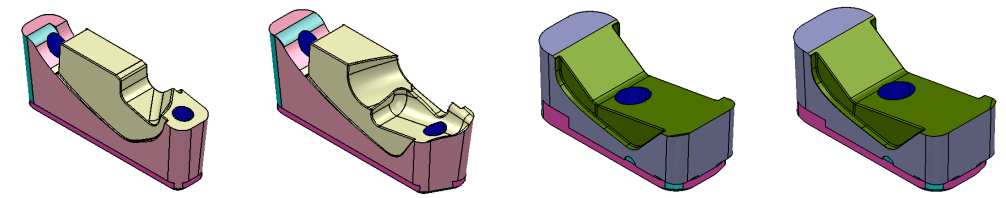
Ordem	Operação	Estratégia	Plano de trabalho
1	Desbaste de planos	Desbaste do modelo	DMU60
2	Pré 20x2	Acabamento Z Constante	DMU60
3	Redução 10x1	Acabamento Z Constante	DMU60
4	Pré 6x1	Acabamento Z Constant)	DMU60
5	Pré Copia 6x1	Acabamento Raster	DMU60
6	Furação	Furação helicoidal	DMU60
7	Redução Z Pré 4x1	Acabamento Z Constante	DMU60
8	Acabamento	Acabamento Raster	DMU60
9	Redução Raios Acabamento	Acabamento 3D offset	DMU60
10	Pencil	Acabamento Raster	DMU60

Como se pode reparar, em 5 eixos contínuos o acabamento da gravação é realizada em menos etapas de maquinagem do que o caso anterior. Isto porque, nas estratégias de maquinagem em 5 eixos contínuos, consegue-se manter sempre um ângulo ou uma distância entre o cone e a peça, de forma a evitar colisões, sendo que não é necessário definir planos de trabalho secundários. Apesar de não se definir esses planos de trabalho, e se maquinar a gravação em menos etapas, é importante realçar que a ideologia de maquinagem para este caso é a mesma que a do caso anterior.

3.5.8 Palete 356_359

Este caso de estudo, surgiu com algumas dificuldades e necessidades identificadas no caso de estudo da secção 3.5.7. Estas foram identificadas principalmente na maquinagem em 5 eixos contínuos, sendo por isso que neste caso em questão são descritos o primeiro aperto e o segundo aperto em 5 eixos posicionais, e o segundo aperto em 5 eixos contínuos. Nos apertos em que se maquinou a 5 eixos posicionais, as estratégias de maquinagem são as mesmas que no caso anterior, diferindo apenas no sistema de fixação do segundo aperto. O foco de interesse neste caso reside então no segundo aperto em 5 eixos contínuos.

Os postiços da cavidade em questão, neste caso, são idênticos ao caso anterior, tanto a nível de geometria como material. Assim, na Figura 3.32 estão representados os postiços da cavidade SA7994_102A, SA7994_102B, SA7995_100A e SA7995_102A.



(a) SA7994_102A. (b) SA7994_102B. (c) SA7995_100A. (d) SA7995_102A.

Figura 3.32: Postiços da cavidade.

Palete 356_359 - primeiro aperto - 5 eixos posicionais

Neste primeiro aperto dos postiços, em 5 eixos posicionais, opta-se pela seguinte configuração de paletes para a sua fixação (Figura 3.33).

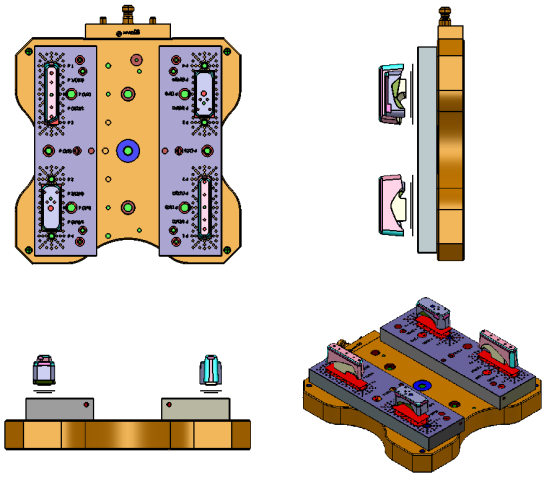


Figura 3.33: Palete 356_359 AP1 - 5 eixos posicionais.

A Tabela 3.26, é um resumo do processo de maquinagem para este primeiro aperto em 5 eixos posicionais, sendo que no anexo D.8.1 estão todas as etapas de maquinagem detalhadas.

Tabela 3.26: Processo de maquinagem dos postiços da cavidade SA7994_102A, SA7994_102B, SA7995_100A e SA7995_102A - primeiro aperto - 5 eixos posicionais.

Ordem	Operação	Estratégia	Plano de trabalho
1	Desbaste de planos	Desbaste de camada	DMU60
2	Pre Contorno	Acabamento Z constante	DMU60
3	Pre Planos	Desbaste de camada	DMU60
4	Pre Planos	Acabamento Z constante	DMU60
5	Acabamentos Planos	Desbaste de camada	DMU60
6	Furar cavilhas ϕ 4 mm	Furação picote simples	DMU60
7	Escarear cavilhas ϕ 4 mm	Furação picote simples	DMU60
8	Furar M5	Furação picote simples	DMU60
9	Escarear furo M5	Furação picote simples	DMU60
10	Roscar furo M5	Furação picote simples	DMU60
11	Desbaste gravação Y90	Desbaste do modelo	Y90
12	Pré gravação CTZ Y90	Acabamento Z constante	Y90
13	Pré gravação CP Y90	Acabamento raster	Y90
14	Acabamento gravação CP Y90	Acabamento raster	Y90
15	Pencil gravação Y90	Acabamento de cantos pencil	Y90
16	Desbaste gravação Y-90	Desbaste do modelo	Y-90
17	Pré gravação CTZ Y-90	Acabamento Z constante	Y-90
18	Pré gravação CP Y-90	Acabamento raster	Y-90
19	Acabamento gravação CP Y-90	Acabamento raster	Y-90
20	Pencil gravação Y-90	Acabamento de cantos pencil	Y-90

Dado o facto de neste aperto as estratégias de maquinagem serem iguais às estratégias de maquinagem utilizadas na secção 3.5.7, não há necessidade de as voltar a explicar.

Palete 356 - segundo aperto - 5 eixos posicionais

Este segundo aperto, em 5 eixos posicionais, apenas difere no sistema de fixação utilizado, visto que só se irá maquinar as gravações dos postiços SA7994_102A e SA7995_102A. Assim, opta-se pela seguinte configuração de paletes para a sua fixação (Figura 3.34).

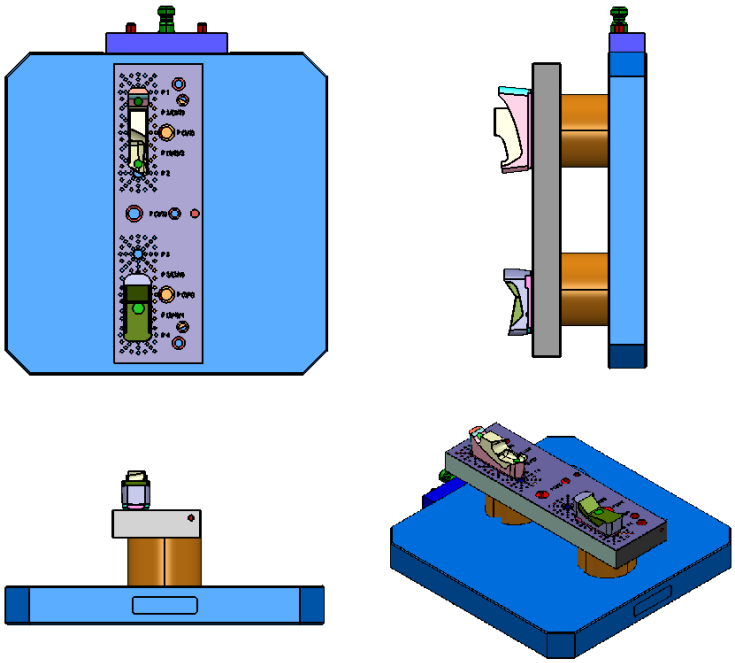


Figura 3.34: Palete 356 AP2 - 5 eixos posicionais.

A Tabela 3.27, é um resumo do processo de maquinagem para este segundo aperto em 5 eixos posicionais, sendo que no anexo D.8.2 estão todas as etapas de maquinagem detalhadas. Apesar de o sistema de fixação ser diferente do segundo aperto do caso anterior, este nada influência nas estratégias de maquinagem utilizadas neste caso, mantendo-se iguais em ambos os casos.

Tabela 3.27: Processo de maquinagem dos postiços da cavidade SA7994_102A e SA7994_102B - segundo aperto - 5 eixos posicionais.

Ordem	Operação	Estratégia	Plano de trabalho
1	Desbaste	Desbaste do modelo	DMU60
2	Pré 20x2	Acabamento Z constante	DMU60
3	Pré 10x1	Acabamento Z constante	DMU60
4	Redução Z Pré	Acabamento Z constante	DMU60
5	Pré Gravação	Acabamento raster	DMU60
6	Acabamento Gravação	Acabamento raster	DMU60
7	Furação Folga	Furação helicoidal	DMU60
8	Pré Redução Z X-15	Acabamento Z constante	X-15
9	Acabamento Redução Z X-15	Acabamento Z constante	X-15
10	Pencil Redução Z X-15	Acabamento Z constante	X-15
11	Pre gravação CTZ Y-90	Acabamento Z constante	Y-90
12	Pre gravação CP Y-90	Acabamento raster	Y-90
13	Acabamento gravação Y-90	Acabamento raster	Y-90
14	Pencil gravação Y-90	Acabamento de cantos pencil	Y-90

Palete 356 - segundo aperto - 5 eixos contínuos

É neste aperto que reside a importância deste caso de estudo, devido às entradas e saídas da ferramenta na peça verificado, no caso de estudo anterior. Assim, de igual modo, tanto o sistema de fixação como as estratégias de maquinagem adotadas se mantêm iguais.

A Tabela 3.28, é um resumo do processo de maquinagem para este segundo aperto em 5 eixos contínuos, sendo que no anexo D.8.2 estão todas as etapas de maquinagem detalhadas.

Tabela 3.28: Processo de maquinagem dos postiços da cavidade SA7994_102A e SA7994_102B - segundo aperto - 5 eixos contínuos.

Ordem	Operação	Estratégia	Plano de trabalho
1	Desbaste	Desbaste do modelo	DMU60
2	Pré 20x2	Acabamento Z constante	DMU60
3	Pré 10x1	Acabamento Z constante	DMU60
4	Redução Z Pré	Acabamento Z constante	DMU60
5	Pré Gravação	Acabamento raster	DMU60
6	Furação Folga	Furação helicoidal	DMU60
7	Acabamento Gravação	Acabamento raster	DMU60
8	Redução Raios Acabamento gravação	Acabamento 3D offset	DMU60
9	Pencil acabamento gravação	Acabamento de cantos pencil	DMU60

Parte III

Resultados e Discussão

Capítulo 4

Resultados Obtidos

Nesta secção apresentam-se todos os tempos de maquinagem para cada caso de estudo, sendo feita a comparação dos mesmos em 5 eixos posicionais e 5 eixos contínuos. Nos casos em que tal não se sucede visto que não é possível fazer esta comparação, é feita uma análise do procedimento de maquinagem.

4.1 Palete 14_15

Na Tabela 4.1 encontram-se os tempos de maquinagem para o primeiro e segundo aperto dos postiços da cavidade SA7968_100B e SA7968_100E.

Tabela 4.1: Tempo de maquinagem dos postiços SA7968_100B e SA7968_100E - 5 eixos posicionais.

Aperto	Ordem	Operação	Tempo de maquinagem
Primeiro aperto	1	Desbaste de planos	00:02:56
Primeiro aperto	2	Pré contorno 1	01:33:38
Primeiro aperto	3	Pré contorno 2	01:32:32
Primeiro aperto	4	Acabamento planos	00:14:58
Primeiro aperto	5	Acabamento de mestras	00:26:39
Primeiro aperto	6	Acabamento contorno 1	00:52:40
Primeiro aperto	7	Acabamento contorno 2	00:51:39
Primeiro aperto	8	Furação ϕ 6 mm	00:00:12
Primeiro aperto	9	Escarear furo ϕ 6	00:00:07
Primeiro aperto	10	Redesbaste lateral	00:07:58
Primeiro aperto	11	Acabamento lateral	00:07:39
Primeiro aperto	12	Acabamento raios lateral	00:12:23
Primeiro aperto	13	Redesbaste lateral	00:09:51
Primeiro aperto	14	Acabamento lateral	00:06:31
Primeiro Aperto	15	Acabamento raios lateral	00:10:06

Aperto	Ordem	Operação	Tempo de maquinagem
Segundo aperto	1	Desbaste planos	00:35:37
Segundo aperto	2	Desbaste planos 1	00:07:01
Segundo aperto	3	Redesbaste planos	00:18:07
Segundo aperto	4	Pré planos	00:11:59
Segundo aperto	5	Redução pré planos	00:16:43
Segundo aperto	6	Redução pré planos 1	00:11:02
Segundo aperto	7	Pré gravação	00:26:27
Segundo aperto	8	Acabamento gravação 1	02:25:48
Segundo aperto	9	Redução raios	02:27:17
Segundo aperto	10	Acabamento gravação 1	05:01:10
Segundo aperto	11	Pencil gravação	00:03:25
Segundo aperto	12	Acabamento redução de raios	01:45:33
Segundo aperto	13	Pencil redução de raios	00:01:11
		Tempo total de maquinagem	20:21:08

Com base na Tabela 4.1, observa-se que os postiços são maquinados em 20h21min, sendo que o maior tempo de maquinagem reside no desbaste, pré-acabamento e acabamento da lateral dos postiços. De realçar que as laterais dos postiços foram maquinadas separadamente, ou seja, não se maquinou a lateral destes em contorno, visto que a ferramenta utilizada não apresentava a altura necessária para tal. Assim, opta-se por maquinar as laterais que assim o permitem como maquinagem de planos, sendo que as outras duas se maquinou com um ângulo de 15°, de modo a evitar colisões. Devido a esta metodologia, é necessário maquinar as mestras num programa à parte. Isto, deve ser a última opção a tomar, visto que as mestras são feitas com o objetivo de comparar os postiços e ainda dar a informação ao operador se o postiço está dentro das cotas dimensionais.

Quanto ao segundo aperto, este representa 68% do tempo total de maquinagem, pois é neste que se maquina a gravação dos mesmos. Assim, é preciso ter uma especial atenção no acabamento superficial e na tolerância dimensional e geométrica, visto que se trata de um aço com elevada dureza e que há um maior desgaste da ferramenta. Com o sistema de fixação escolhido para este segundo aperto, obteve-se um bom acabamento superficial e garantiu-se o tolerânciamento dimensional e geométrico, sem haver a necessidade de repetir os programas.

4.2 Palete 91_92

Na Tabela 4.2 encontram-se os tempos de maquinagem para o primeiro aperto dos levantadores SA7982_700A3 e SA7982_700A4.

Tabela 4.2: Tempo de maquinagem dos levantadores SA7982_700A3 e SA7982_700A4 - primeiro aperto - 5 eixos posicionais.

Aperto	Ordem	Operação	Tempo de maquinagem
Primeiro aperto	1	Desbaste de planos	0:06:52
Primeiro aperto	2	Desbaste	0:08:47
Primeiro aperto	3	Pré Contorno	1:40:56
Primeiro aperto	4	Pré planos	0:03:27
Primeiro aperto	5	Acabamento contorno	2:10:17
Primeiro aperto	6	Acabamento planos	0:04:58
Primeiro aperto	7	Redução folga	0:07:41
Primeiro aperto	8	Furação ϕ 4 mm	0:00:09
Primeiro aperto	9	Escarear furo ϕ 4 mm	0:00:06
Primeiro aperto	10	Redesbaste X-90Z180	0:05:14
Primeiro aperto	11	Pré Plano X-90Z180	0:01:45
Primeiro aperto	12	Acabamento Plano X-90Z180	0:02:33
Primeiro aperto	13	Redesbaste X-90	0:06:23
Primeiro aperto	14	Pré Plano X-90	0:01:45
Primeiro aperto	15	Acabamento Plano X-90	0:02:33
		Tempo total de maquinagem	4:43:24

Para o primeiro aperto tem-se um tempo de maquinagem total de 4h43min, o que representa a maquinagem do topo do levantador, a furação necessária e ainda a maquinagem do cone de ajustamento. Apenas se considerou estas etapas de maquinagem neste aperto, devido ao facto de estes apresentarem 227 mm de altura, o que impossibilita a maquinagem em contorno devido à altura da ferramenta.

Assim, no segundo aperto é feita a maquinagem dos levantadores individualmente, permitindo assim que não haja restrições nas rotações a dar ao plano de trabalho principal, de forma a maquinar todas as faces dos levantadores.

A Tabela 4.3 representa os tempos de maquinagem para o segundo aperto do levantador SA7982_700A4.

Tabela 4.3: Tempo de maquinagem do levantador SA7982_700A4 - segundo aperto aperto - 5 eixos posicionais.

Aperto	Ordem	Operação	Tempo de maquinagem
Segundo aperto	1	Redesbaste	0:06:18
Segundo aperto	2	Furação M12 Y90	0:00:10
Segundo aperto	3	Escarear furo M12 Y90	0:00:03
Segundo aperto	4	Roscar furo M12 Y90	0:00:23
Segundo aperto	5	Desbaste de planos	0:01:02
Segundo aperto	6	Pré contorno	0:40:47

Aperto	Ordem	Operação	Tempo de maquinagem
Segundo aperto	7	Pré planos	0:00:51
Segundo aperto	8	Acabamento contorno	1:41:27
Segundo aperto	9	Acabamento planos	0:01:12
Segundo aperto	10	Redesbaste planos Y90	0:07:39
Segundo aperto	11	Acabamento folga Y90	0:03:36
Segundo aperto	12	Pré planos Y90	0:04:22
Segundo aperto	13	Acabamento planos Y90	0:07:35
Segundo aperto	14	Pré furos folga Y90	0:04:13
Segundo aperto	15	Acabamento furos folga Y90	0:04:23
Segundo aperto	16	Redesbaste planos Y-90	0:07:09
Segundo aperto	17	Acabamento folga Y-90	0:03:55
Segundo aperto	18	Pré planos Y-90	0:02:15
Segundo aperto	19	Acabamento planos Y-90	0:05:53
Segundo aperto	20	Redesbaste X-90	0:03:14
Segundo aperto	21	Pré CTZ X-90	0:05:20
Segundo aperto	22	Pré CP X-90	0:12:03
Segundo aperto	23	Acabamento X-90	0:14:54
		Tempo total de maquinagem	3:58:46

Neste aperto, começa-se por fazer as furações no plano de trabalho rodado 90°, de forma a reduzir as vibrações que podem acontecer. Isto deve-se, como já referido, à altura do levantador.

Não havendo restrições às rotações que se pode aplicar ao plano de trabalho principal, é necessário aplicar três rotações, todas de 90° aos devidos eixos, para obter as posições necessárias. Assim, este segundo aperto apresenta um tempo de maquinagem de 3h58min.

Havendo a necessidade de este levantador ser feito em Ampcoloy 944, para que se consiga extrair uma maior quantidade de calor num determinado tempo, é importante verificar o acabamento superficial do mesmo, visto que este material tende a acumular mais apara junto da ferramenta. Assim, verificou-se que este levantador apresenta um bom acabamento superficial, o que traduz que os parâmetros de corte foram bem selecionados.

Com o sistema de fixação escolhido, consegue-se evitar o fim de curso nos eixos lineares da máquina CNC. Como o levantador apresenta uma altura significativa no processo de maquinagem, após este segundo aperto, este foi medido no sector da metrologia, verificando-se que o levantador estava dentro das cotas dimensionais pretendidas.

4.3 Palete 112_113

Na maquinagem destes dois postiços de levantador, tanto em 5 eixos posicionais, como em 5 eixos contínuos, começa-se por fazer o desbaste, pré acabamento e acabamento de planos (topo dos postiços) e contorno, seguido da furação e acabamento dos veios. Em ambos os casos, o sistema de fixação dos postiços é o mesmo, para que este não influencie o acabamento superficial, nem tolerânciomento dimensional e geométrico.

Na Tabela 4.4 encontram-se os tempos de maquinagem para o primeiro aperto dos postiços de levantador SA7978_540 e SA7978_542 em 5 eixos posicionais.

Tabela 4.4: Tempo de maquinagem dos postiços dos levantadores SA7978_540 e SA7978_542 - 5 eixos posicionais.

Aperto	Ordem	Operação	Tempo de maquinagem
Primeiro aperto	1	Desbaste de planos	0:09:04
Primeiro aperto	2	Pré contorno	2:24:16
Primeiro aperto	3	Pré planos	0:03:03
Primeiro aperto	4	Acabamento contorno	2:43:51
Primeiro aperto	5	Acabamento planos	0:04:19
Primeiro aperto	6	Furação taco	0:00:25
Primeiro aperto	7	Furação ϕ 4 mm	0:00:09
Primeiro aperto	8	Escarear furo ϕ 4 mm	0:00:21
Primeiro aperto	9	Furação M10	0:00:11
Primeiro aperto	10	Escarear furo M10	0:00:18
Primeiro aperto	11	Roscar furo M10	0:01:13
Primeiro aperto	12	Desbaste veios	0:13:54
Primeiro aperto	13	Acabamento cabeça veios	0:04:35
Primeiro aperto	14	Pré veios	0:05:44
Primeiro aperto	15	Acabamento fundo cabeça veios	0:01:54
Primeiro aperto	16	Acabamento fundo veios	0:00:18
		Tempo total de maquinagem	5:53:36

Para a maquinagem a 5 eixos posicionais, obteve-se um tempo de maquinagem de 5h53min.

A Tabela 4.5 apresenta os tempos de maquinagem para o primeiro aperto dos postiços de levantadores SA7978_540 e SA7978_542 em 5 eixos contínuos.

Tabela 4.5: Tempo de maquinagem dos postiços de levantador SA7978_540 e SA7978_542 - 5 eixos contínuos.

Aperto	Ordem	Operação	Tempo de maquinagem
Primeiro aperto	1	Desbaste de planos	0:09:04
Primeiro aperto	2	Pré contorno	2:24:16
Primeiro aperto	3	Pré planos	0:03:03
Primeiro aperto	4	Cortar mestras	0:02:02
Primeiro aperto	5	Pré contorno swarf	0:01:14
Primeiro aperto	6	Acabamento contorno swarf	0:01:11
Primeiro aperto	7	Acabamento planos	0:04:19
Primeiro aperto	8	Furação taco	0:00:25
Primeiro aperto	9	Furação ϕ 4 mm	0:00:09
Primeiro aperto	10	Escarear furo ϕ 4 mm	0:00:21

Aperto	Ordem	Operação	Tempo de maquinagem
Primeiro aperto	11	Furação M10	0:00:11
Primeiro aperto	12	Escarear furo M10	0:00:18
Primeiro aperto	13	Roscar furo M10	0:01:13
Primeiro aperto	14	Desbaste veios	0:13:54
Primeiro aperto	15	Acabamento cabeça veios	0:04:35
Primeiro aperto	16	Pré veios	0:05:44
Primeiro aperto	17	Acabamento fundo cabeça veios	0:01:54
Primeiro aperto	18	Acabamento fundo veios	0:00:18
		Tempo total de maquinagem	3:03:53

Para a maquinagem a 5 eixos contínuos, obteve-se um tempo de maquinagem de 3h33min.

Assim, apesar de o número de etapas de maquinagem em 5 eixos contínuos ser maior que o número de etapas de maquinagem em 5 eixos posicionais, visto que é necessário ter em atenção a altura do material excedente no fim do postiço, para que não haja colisões com a ferramenta, verifica-se que a 5 eixos contínuos há um ganho de 2h50min no tempo de maquinagem. Tal acontece, devido às estratégias de maquinagem utilizadas, isto porque a 5 eixos posicionais a maquinagem em contorno é feita através da estratégia de acabamento a z constante, ou seja, a maquinagem em contorno é feita por vários níveis, enquanto que em 5 eixos contínuos, a estratégia utilizada, *swarf*, consiste em maquinar toda a altura das paredes laterais numa passagem só, ganhando assim imenso tempo de maquinagem.

Visto que em ambos os casos o acabamento superficial é aceitável e que estes postiços respeitam as tolerâncias dimensionais e geométricas, conclui-se que para postiços deste tipo, é vantajoso utilizar estratégias de maquinagem em 5 eixos contínuos.

4.4 Palete 176_180_181_182_183

A Tabela 4.6 representa os tempos de maquinagem para o primeiro, segundo e terceiro aperto dos vinte postiços maquinados em 5 eixos posicionais.

Tabela 4.6: Tempo de maquinagem dos vinte postiços - 5 eixos posicionais.

Aperto	Ordem	Operação	Tempo de maquinagem
Primeiro aperto	1	Desbaste de planos	0:16:44
Primeiro aperto	2	Pré contorno	2:36:38
Primeiro aperto	3	Pré planos	0:17:39
Primeiro aperto	4	Acabamento contorno	5:40:26
Primeiro aperto	5	Acabamento planos	0:07:29
Primeiro aperto	6	Acertar planos cavilhas	0:03:57
Primeiro aperto	7	Furação ϕ 4 mm	0:01:29
Primeiro aperto	8	Escarear furo ϕ 4 mm	0:00:47

Aperto	Ordem	Operação	Tempo de maquinagem
Primeiro aperto	9	Furação M8	0:00:22
Primeiro aperto	10	Escarear M8	0:00:06
Primeiro aperto	11	Roscar M8	0:00:39
Primeiro aperto	12	Furação M10	0:01:02
Primeiro aperto	13	Furação ϕ 9 mm	0:00:07
Primeiro aperto	14	Escarear M10	0:00:18
Primeiro aperto	15	Roscar M10	0:01:43
Primeiro aperto	16	Desbaste de veios	0:06:44
Primeiro aperto	17	Acabamento cabeça de veios	0:02:21
Primeiro aperto	18	Pré veios	0:09:14
Primeiro aperto	19	Acabamento fundo veios	0:00:10
Primeiro aperto	20	Acabamento fundo cabeça veios	0:00:09
Primeiro aperto	21	Desbaste 1	0:21:16
Primeiro aperto	22	Pré planos 1	0:05:22
Primeiro aperto	23	Acabamento planos 1	0:08:44
Primeiro aperto	24	Redesbaste frisos CTZ	0:02:19
Primeiro aperto	25	Pré frisos CTZ	0:23:15
Primeiro aperto	26	Pré frisos CP	0:24:12
Primeiro aperto	27	Acabamento frisos CP	0:41:01
Primeiro aperto	28	Pencil frisos	0:00:31
Primeiro aperto	29	Desbaste Bayer 1	0:05:21
Primeiro aperto	30	Pré Bayer CTZ 1	0:09:58
Primeiro aperto	31	Pré Bayer 3D 1	0:23:23
Primeiro aperto	32	Acabamento Bayer 1	0:16:13
Primeiro aperto	33	Acabamento Bayer 1.1	0:01:19
Primeiro aperto	34	Acabamento fundo Bayer 1	0:00:15
Primeiro aperto	35	Desbaste Bayer 2	0:14:44
Primeiro aperto	36	Acabamento lateral	0:00:38
Primeiro aperto	37	Pré planos 2	0:02:40
Primeiro aperto	38	Acabamento planos 2	0:00:51
Primeiro aperto	39	Pré Bayer CTZ 2	0:05:48
Primeiro aperto	40	Pré Bayer 3D 2	0:12:42
Primeiro aperto	41	Acabamento Bayer 2	0:09:02
Primeiro aperto	42	Acabamento Bayer 2.1	0:01:26
Primeiro aperto	43	Acabamento fundo Bayer 2	0:00:54
Primeiro aperto	44	Desbaste Bayer 3	0:03:11
Primeiro aperto	45	Pré Bayer CTZ 3	0:05:21
Primeiro aperto	46	Pré Bayer 3D 3	0:08:01
Primeiro aperto	47	Acabamento Bayer 3	0:12:01
Primeiro aperto	49	Acabamento Bayer 3.1	0:00:38
Primeiro aperto	50	Acabamento fundo Bayer 3	0:00:20
Segundo aperto	1	Desbaste porta agrafos	0:08:19
Segundo aperto	2	Pré porta agrafos CTZ	0:14:39
Segundo aperto	3	Pré porta agrafos CP	0:11:27
Segundo aperto	4	Redução de raios porta agrafos	0:02:28

Aperto	Ordem	Operação	Tempo de maquinagem
Segundo aperto	5	Acabamento porta agrafos	0:51:36
Segundo aperto	6	Pencil porta agrafos	0:00:41
Segundo aperto	7	Desbaste planos	0:04:27
Segundo aperto	8	Desbaste bayer	0:03:32
Segundo aperto	9	Acabamento lateral	0:00:45
Segundo aperto	10	Acabamento plano	0:01:03
Segundo aperto	11	Pré Bayer CTZ	0:08:24
Segundo aperto	12	Pré Bayer 3D	0:15:19
Segundo aperto	13	Acabamento Bayer 3D	0:12:34
Segundo aperto	14	Acabamento Bayer	0:05:29
Terceiro aperto	1	Desbaste planos	0:11:00
Terceiro aperto	2	Acabamento lateral	0:00:51
Terceiro aperto	3	Acabamento plano	0:05:44
Terceiro aperto	4	Pré Bayer CTZ	0:06:09
Terceiro aperto	5	Pré Bayer 3D	0:14:58
Terceiro aperto	6	Acabamento Bayer 3D	0:11:52
Terceiro aperto	7	Acabamento Bayer	0:00:39
Terceiro aperto	8	Acabamento fundo Bayer	0:00:11
		Tempo total de maquinagem	17:01:22

Para estes três apertos, é contabilizado um tempo de maquinagem de 17h, sendo que traduz um elevado número de horas de maquinagem. Contudo, em termos de tempo de maquinagem efetivo, pensa-se que maquinar com esta palete os vinte postiços, ou fazê-lo em 5 paletes individuais, este apresentará uma diferença pouco significativa. No entanto, há um ganho significativo no tempo de *set-up*, visto que entre apertos basta só retirar os postiços já acabados.

Em média, o tempo de *set-up* para cada quatro postiços deste tipo, é 45 minutos. Neste tempo é contabilizada a fixação dos mesmos na palete, a montagem do sistema de fixação, a montagem destes no *robot* da máquina e ainda o transporte dos mesmos realizado pelo *robot*. Ora como foram maquinados vinte postiços, quer dizer que em condições normais precisaria de 3h45min só para tempo de *set-up*.

Com esta solução de palete, o tempo de *set-up* cai sensivelmente para menos de metade, sendo só necessário 1h43min. Assim, torna-se vantajoso utilizar esta palete sempre que haja postiços com dimensões e com operações de maquinagem idênticas, de forma a poupar tempo ao operador, deixando-o livre para outras funções a desempenhar.

4.5 Palete 208_209

Na Tabela 4.7 encontram-se os tempos de maquinagem para o primeiro aperto dos postiços de levantador SA7954_508 e SA7954_509.

Tabela 4.7: Tempo de maquinagem dos dois postiços de levantador SA7954_508 e SA7954_509 - 5 eixos posicionais.

Aperto	Ordem	Operação	Tempo de maquinagem
Primeiro aperto	1	Desbaste de planos	0:04:13
Primeiro aperto	2	Pré contorno	1:10:24
Primeiro aperto	3	Pré planos	0:04:04
Primeiro aperto	4	Acabamento contorno	2:19:47
Primeiro aperto	5	Acabamento planos	0:05:17
Primeiro aperto	6	Furação ϕ 4 mm	0:00:15
Primeiro aperto	7	Escarear furo ϕ 4 mm	0:00:06
Primeiro aperto	8	Furação ϕ 6 mm	0:00:11
Primeiro aperto	9	Escarear furo ϕ 6 mm	0:00:08
Primeiro aperto	10	Furação M12	0:00:015
Primeiro aperto	11	Escarear furo M12	0:00:12
Primeiro aperto	12	Roscar furo M12	0:00:23
Primeiro aperto	13	Furação M10	0:00:18
Primeiro aperto	14	Escarear furo M10	0:00:06
Primeiro aperto	15	Roscar furo M10	0:00:24
Primeiro aperto	16	Furação ϕ 11 mm	0:00:41
Primeiro aperto	17	Escarear furo ϕ 11 mm	0:00:07
Primeiro aperto	18	Desbaste gravação Y90	0:01:48
Primeiro aperto	19	Pré gravação CTZ Y90	0:06:26
Primeiro aperto	20	Pré gravação CP Y90	0:09:48
Primeiro aperto	21	Acabamento gravação Y90	0:19:38
Primeiro aperto	22	Pencil gravação Y90	0:00:30
Primeiro aperto	23	Acabamento redução raios gravação Y90	0:41:48
Primeiro aperto	24	Desbaste Veio Y5	0:00:56
Primeiro aperto	25	Acabamento Veio Y5	0:02:20
Primeiro aperto	26	Pencil Veio Y5	0:00:16
Primeiro aperto	27	Acabamento faceta Y5	0:00:59
Primeiro aperto	28	Pencil faceta Y5	0:00:20
Primeiro aperto	29	Furação ϕ 11 mm Y5	0:00:18
Primeiro aperto	30	Desbaste Veio Y-5	0:01:07
Primeiro aperto	31	Acabamento Veio Y-5	0:02:56
Primeiro aperto	32	Pencil Veio Y-5	0:00:16
Primeiro aperto	33	Acabamento faceta Y-5	0:00:58
Primeiro aperto	34	Pencil faceta Y-5	0:00:08
Primeiro aperto	35	Furação ϕ 11 mm Y-5	0:00:17
Primeiro aperto	36	Desbaste gravação Y90Z-90	0:01:19
Primeiro aperto	37	Pré gravação 4x1 Y90Z-90	0:00:45
Primeiro aperto	38	Pré gravação 2x1 Y90Z-90	0:05:56
Primeiro aperto	39	Acabamento gravação Y90Z-90	0:08:59
Primeiro aperto	40	Pencil gravação Y90Z-90	0:00:08
Primeiro aperto	41	Desbaste gravação Y-90	0:02:01
Primeiro aperto	42	Pré gravação CTZ Y-90	0:05:22
Primeiro aperto	43	Pré gravação CP Y-90	0:10:38
Primeiro aperto	44	Acabamento gravação Y-90	0:20:36
Primeiro aperto	45	Acabamento gravação Y-90	0:00:35
Primeiro aperto	46	Acabamento redução raios gravação Y-90	0:33:15
		Tempo total de maquinagem	6:47:18

O tempo de maquinagem neste primeiro aperto é de 6h47min, sendo que o desbaste, pré acabamento e acabamento de topo e contorno representam grande parte deste tempo.

Neste caso em particular, o segundo aperto é feito numa máquina CNC de três eixos convencional, isto porque, devido à sua geometria, não se justifica estar a acabar estes postiços na máquina CNC DMU 60 eVo linear. Contudo, é necessário incluir as etapas de maquinagem desde o desbaste ao acabamento das gravações neste aperto, pois é necessário garantir um bom acabamento superficial e garantir o toleranciamento dimensional. Assim, o sistema de fixação escolhido garantiu que não houvesse colisões do cone da máquina com a mesa, visto que o postiço se apresenta a uma altura de 138 mm da mesa, assim como também um bom acabamento na gravação.

Em suma, para casos em que seja necessário acabar gravações em superfícies laterais, a melhor estratégia a adotar é a maquinagem de planos, justificando-se assim a utilização de uma máquina de 5 eixos. No entanto, é sempre importante verificar possíveis colisões que possam ocorrer e fazer os ajustes necessários para que tal não aconteça.

4.6 Palete 230

Na Tabela 4.8 encontram-se os tempos de maquinagem para o primeiro aperto do postiço do macho SA7990_200R.

Tabela 4.8: Tempo de maquinagem do postiço do macho SA7990_200R - 5 eixos posicionais.

Aperto	Ordem	Operação	Tempo de maquinagem
Primeiro aperto	1	Desbaste de planos	0:01:40
Primeiro aperto	2	Pré Contorno	0:33:32
Primeiro aperto	3	Pré Planos	0:02:05
Primeiro aperto	4	Acabamento contorno	1:27:16
Primeiro aperto	5	Acabamento Planos	0:01:48
Primeiro aperto	6	Furação ϕ 4 mm	0:00:19
Primeiro aperto	7	Escarear furo cavilha ϕ 4 mm	0:00:09
Primeiro aperto	8	Furação M8	0:00:23
Primeiro aperto	9	Escarear furo M8	0:00:09
Primeiro aperto	10	Roscar furo M8	0:00:22
Primeiro aperto	11	Furação ϕ 8 mm	0:00:10
Primeiro aperto	12	Acabamento redução de raios	0:01:31
Primeiro aperto	13	Acabamento planos redução de raios	0:00:14
Primeiro aperto	14	Desbaste gravação Y90	0:02:53
Primeiro aperto	15	Pré gravação CTZ Y90	0:01:17
Primeiro aperto	16	Pré gravação CP Y90	0:03:27
Primeiro aperto	17	Acabamento gravação Y90	0:09:25
Primeiro aperto	18	Pencil gravação Y90	0:00:52
Primeiro aperto	19	Desbaste gravação Y90Z-90	0:00:17
Primeiro aperto	20	Pré gravação CP Y90Z-90 (1)	0:01:40

Aperto	Ordem	Operação	Tempo de maquinagem
Primeiro aperto	21	Pré gravação CP Y90Z-90 (2)	0:01:02
Primeiro aperto	22	Acabamento gravação Y90Z-90	0:01:53
Primeiro aperto	23	Desbaste gravação Y90Z180	0:06:33
Primeiro aperto	24	Pré extração Y90Z180	0:00:45
Primeiro aperto	25	Acabamento extração Y90Z180	0:00:44
	(25.1)	Acabamento extração Y90Z180	
	(25.2)	Acabamento extração Y90Z180	
	(25.3)	Acabamento extração Y90Z180	
	(25.4)	Acabamento extração Y90Z180	
Primeiro aperto	26	Pré extração Y90Z179.45	0:02:16
Primeiro aperto	27	Acabamento extração Y90Z179.45	0:00:16
	(27.1)	Acabamento extração Y90Z179.45	
	(27.2)	Acabamento extração Y90Z179.45	
	(27.3)	Acabamento extração Y90Z179.45	
	(27.4)	Acabamento extração Y90Z179.45	
Primeiro aperto	28	Pré extração Y90Z179.25	0:02:27
Primeiro aperto	29	Acabamento extração Y90Z179.25	0:00:17
	(29.1)	Acabamento extração Y90Z179.25	
	(29.2)	Acabamento extração Y90Z179.25	
	(29.3)	Acabamento extração Y90Z179.25	
	(29.4)	Acabamento extração Y90Z179.25	
Primeiro aperto	30	Pré gravação CTZ X180Y85	0:05:19
Primeiro aperto	31	Pré gravação CP X180Y85	0:12:46
Primeiro aperto	31	Acabamento gravação X180Y85	0:13:56
Primeiro aperto	32	Pencil gravação X180Y85	0:00:47
		Tempo total de maquinagem	3:19:40

Com base na tabela acima, constata-se que o tempo de maquinagem para este postiço do macho é de 3h19min, apresentando um pequeno erro, visto que não foi contabilizado o tempo de verificação da zona de ajustamento (etapas 25, 27 e 29). Ou seja, depois de concluído todo o processo de maquinagem deste postiço neste aperto, o operador vai verificar se as superfícies de ajustamento se encontram dentro da tolerância dimensional na zona de ajustamento com o apalpador, sendo que se a ferramenta apresentar desgaste, a tolerância dimensional não é respeitada, sendo necessária a re-maquinagem dessas superfícies com uns novos programas. Estes novos programas, são uma cópia dos programas 25, 27 e 29, apresentando uma única diferença que consiste em retirar mais 2 centésimas de milímetro ao programa previamente passado. Assim, conforme a cota dimensional dada pelo apalpador, o operador só tem que escolher o programa que pretende e passá-lo de forma a garantir a tolerância dimensional.

A medição desta verificação foi feita manualmente e apresenta um tempo de 45 minutos, o que é bastante satisfatório, visto que, nas máquinas CNC convencionais, em média esta operação demorava 1h15min, isto para uma única zona de ajustamento. Neste caso, verificaram-se três zonas de ajustamento. Esta diferença de tempo deve-se ao método utilizado, isto porque as máquinas convencionais apresentam folgas na árvore da mesma, impossibilitando assim determinar um valor médio para retirar à superfície já maqui-

nada. Assim, neste caso, o operador tem que introduzir manualmente a diferença da cota dimensional real face à desejada, o que leva a novos erros e ainda a um aumento de tempo de verificação significativo.

Conclui-se então que a definição deste novo método de maquinagem para verificação das cotas dimensionais nas zonas de ajustamento é muito proveitoso a nível de tempo de maquinagem, dado que se consegue otimizar o processo de verificação.

4.7 Palete 355_357

A Tabela 4.9 representa os tempos de maquinagem para o primeiro e segundo aperto dos postiços da cavidade SA7994_100A, SA7994_100B, SA7995_100B e SA7995_102B em 5 eixos posicionais.

Tabela 4.9: Tempo de maquinagem dos postiços de cavidade SA7994_100A, SA7994_100B, SA7995_100B e SA7995_102B - 5 eixos posicionais.

Aperto	Ordem	Operação	Tempo de maquinagem
Primeiro aperto	1	Desbaste de planos	0:01:49
Primeiro aperto	2	Pré contorno	0:50:30
Primeiro aperto	3	Pré planos	0:01:32
Primeiro aperto	4	Acabamento contorno	1:48:15
Primeiro aperto	5	Acabamento planos	0:01:31
Primeiro aperto	6	Furação ϕ 4 mm	0:00:33
Primeiro aperto	7	Escarear furo ϕ 4 mm	0:00:24
Primeiro aperto	8	Furação ϕ 7 mm	0:00:29
Primeiro aperto	9	Escarear furo ϕ 7 mm	0:00:11
Primeiro aperto	10	Furação M5	0:00:08
Primeiro aperto	11	Escarear furo M5	0:00:18
Primeiro aperto	12	Roscar furo M5	0:00:24
Primeiro aperto	13	Desbaste gravação Y90	0:04:51
Primeiro aperto	14	Pré gravação CTZ Y90	0:02:31
Primeiro aperto	15	Pré gravação CP Y90	0:14:46
Primeiro aperto	16	Acabamento gravação CP Y90	0:20:22
Primeiro aperto	17	Pencil gravação Y90	0:00:18
Primeiro aperto	18	Desbaste gravação Y-90	0:13:48
Primeiro aperto	19	Pré gravação CTZ Y-90	0:03:22
Primeiro aperto	20	Pré gravação CP Y-90	0:27:39
Primeiro aperto	21	Acabamento gravação CP Y-90	1:00:11
Primeiro aperto	22	Pencil gravação Y-90	0:00:15
Segundo aperto	1	Desbaste de planos	0:54:34
Segundo aperto	2	Pré 10x1	0:16:07
Segundo aperto	3	Redução 10x1	0:09:52
Segundo aperto	4	Pré 6x1	0:36:49
Segundo aperto	5	Pré Copia 6x1	0:38:28
Segundo aperto	6	Furação	0:09:26
Segundo aperto	7	Redução Z Pre 4x1	0:06:10

Aperto	Ordem	Operação	Tempo de maquinagem
Segundo aperto	8	Acabamento	0:27:29
Segundo aperto	9	Acabamento 1	0:29:49
Segundo aperto	10	Acabamento 2	0:23:45
Segundo aperto	11	Acabamento 3	0:24:48
Segundo aperto	12	Redução Z Acabamento Pré	0:02:11
Segundo aperto	13	Redução Z Acabamento	0:03:50
Segundo aperto	14	Pencil	0:00:08
Segundo aperto	15	Redução Z Acabamento 1	0:06:28
Segundo aperto	16	Pencil 1	0:00:11
Segundo aperto	17	Redução Z Acabamento 2	0:00:18
Segundo aperto	18	Pencil 2	0:00:11
Segundo aperto	19	Redução Z Acabamento Pré 1	0:10:27
Segundo aperto	20	Redução Z Acabamento 3	0:10:38
Segundo aperto	21	Pencil 3	0:00:06
		Tempo total de maquinagem	10:25:57

A Tabela 4.10 representa os tempos de maquinagem para o primeiro e segundo aperto dos postiços da cavidade SA7994_100A, SA7994_100B, SA7995_100B e SA7995_102B em 5 eixos contínuos.

Com base nas tabelas apresentadas, verifica-se que o tempo de maquinagem a 5 eixos contínuos é menor que o tempo de maquinagem a 5 eixos posicionais, apresentando um tempo de 10h25min e 8h02min, respetivamente. Esta diferença de 2h23 min representa um ganho em 23% no tempo de maquinagem.

A nível de programação do postiço, poupa-se também imenso tempo na programação, visto que o número de etapas a 5 eixos contínuos é muito menor que o número de etapas a 5 eixos posicionais.

Embora tudo indique que seja preferível usar as estratégias de maquinagem a 5 eixos contínuos, nestas é dada a restrição que o cone térmico da ferramenta tem que percorrer a superfícies a maquinar, a uma distância mínima de 3 décimas de milímetro, de forma a evitar colisões. Assim, a máquina faz as necessárias rotações na mesa para que tal se verifique, encontrando-se um elevado número de entradas e saídas na gravação do postiço. Sempre que a rotação necessária a aplicar à mesa seja superior aos limites de rotação dos eixos, a máquina, o que faz é retirar a ferramenta da superfície, fazer uma rotação possível e voltar a entrar numa superfície, sendo que esta não é necessariamente a mesma superfície de saída. Tal pode-se dever a ter as quatro gravações próximas dos limites da mesa da máquina.

Assim, o acabamento superficial deixa muito a desejar, optando-se então pela maquinagem a 5 eixos posicionais.

Tabela 4.10: Tempo de maquinagem dos postiços de cavidade SA7994_100A, SA7994_100B, SA7995_100B e SA7995_102B - 5 eixos posicionais.

Aperto	Ordem	Operação	Tempo de maquinagem
Primeiro aperto	1	Desbaste de planos	0:01:49
Primeiro aperto	2	Pré contorno	0:50:30
Primeiro aperto	3	Pré planos	0:01:32
Primeiro aperto	4	Acabamento contorno	1:48:15
Primeiro aperto	5	Acabamento planos	0:01:31
Primeiro aperto	6	Furação ϕ 4 mm	0:00:33
Primeiro aperto	7	Escarear furo ϕ 4 mm	0:00:24
Primeiro aperto	8	Furação ϕ 7 mm	0:00:29
Primeiro aperto	9	Escarear furo ϕ 7 mm	0:00:11
Primeiro aperto	10	Furação M5	0:00:08
Primeiro aperto	11	Escarear furo M5	0:00:18
Primeiro aperto	12	Roscar furo M5	0:00:24
Segundo aperto	1	Desbaste de planos	0:54:34
Segundo aperto	2	Pré 20x2	0:16:07
Segundo aperto	3	Redução 10x1	0:09:52
Segundo aperto	4	Pré 6x1	0:36:49
Segundo aperto	5	Pré Copia 6x1	0:38:28
Segundo aperto	6	Furação	0:09:26
Segundo aperto	7	Redução Z Pré 4x1	0:06:10
Segundo aperto	8	Acabamento	1:48:38
Segundo aperto	9	Redução Raios Acabamento	0:34:48
Segundo aperto	10	Pencil	0:01:08
		Tempo total de maquinagem	8:02:07

4.8 Palete 356

Nas Tabelas 4.11 e 4.12 encontram-se os tempos de maquinagem para o primeiro e segundo aperto do postiço da cavidade SA7995_102A em 5 eixos posicionais e 5 eixos contínuos, respetivamente.

Como seria de esperar, neste caso as etapas de maquinagem são menores a 5 eixos contínuos do que a 5 eixos posicionais, sendo que o tempo de maquinagem a 5 eixos contínuos (4h04min), é também menor que o tempo de maquinagem a 5 eixos posicionais (5h28min), representando assim um ganho de 26% no tempo de maquinagem. Porém, este caso teve como objetivo diminuir as entradas e sáidas da ferramenta na gravação, sendo por isso que a diferença deste caso para o anterior reside no sistema de fixação, ou seja, este dois postiços encontram-se a meio da mesa da máquina e não nas suas extremidade. Contudo, verificou-se que estas entradas e saídas na superfície ainda são significativas, deixando um mau acabamento superficial. Assim, nas situações em que se queira deixar um bom acabamento superficial, como é o caso, acabamento de gravações, opta-se pelos 5 eixos posicionais, mesmo que este apresente um maior tempo de maquinagem.

Tabela 4.11: Tempo de maquinagem do postiço de cavidade SA7995_102A - 5 eixos posicionais.

Aperto	Ordem	Operação	Tempo de maquinagem
Primeiro aperto	1	Desbaste de planos	0:00:58
Primeiro aperto	2	Pré Contorno	0:23:53
Primeiro aperto	3	Pré Planos	0:00:48
Primeiro aperto	4	Pré Planos	0:51:09
Primeiro aperto	5	Acabamentos Planos	0:00:59
Primeiro aperto	6	Furar cavilhas ϕ 4 mm	0:00:24
Primeiro aperto	7	Escarear cavilhas ϕ 4 mm	0:00:18
Primeiro aperto	8	Furar M5	0:00:17
Primeiro aperto	9	Escarear furo M5	0:00:09
Primeiro aperto	10	Roscar furo M5	0:00:46
Primeiro aperto	11	Desbaste gravação Y90	0:04:02
Primeiro aperto	12	Pré gravação CTZ Y90	0:02:14
Primeiro aperto	13	Pré gravação CP Y90	0:12:11
Primeiro aperto	14	Acabamento gravação CP Y90	0:23:06
Primeiro aperto	15	Pencil gravação Y90	0:00:32
Primeiro aperto	16	Desbaste gravação Y-90	0:03:50
Primeiro aperto	17	Pré gravação CTZ Y-90	0:02:10
Primeiro aperto	18	Pré gravação CP Y-90	0:10:41
Primeiro aperto	19	Acabamento gravação CP Y-90	0:26:15
Primeiro aperto	20	Pencil gravação Y-90	0:00:24
Segundo aperto	1	Desbaste	0:56:52
Segundo aperto	2	Pré 20x2	0:08:56
Segundo aperto	3	Pré 10x1	0:04:05
Segundo aperto	4	Redução Z Pré	0:04:48
Segundo aperto	5	Pré Gravação	0:19:57
Segundo aperto	6	Acabamento Gravação	0:28:53
Segundo aperto	7	Furação Folga	0:05:52
Segundo aperto	8	Pré Redução Z X-15	0:03:44
Segundo aperto	9	Acabamento Redução Z X-15	0:05:00
Segundo aperto	10	Pencil Redução Z X-15	0:00:13
Segundo aperto	11	Pre gravação CTZ Y-90	0:01:10
Segundo aperto	12	Pre gravação CP Y-90	0:04:57
Segundo aperto	13	Acabamento gravação Y-90	0:18:25
Segundo aperto	14	Pencil gravação Y-90	0:00:08
		Tempo total de maquinagem	5:28:04

Tabela 4.12: Tempo de maquinagem do postiço de cavidade SA7995_102A - 5 eixos contínuos.

Aperto	Ordem	Operação	Tempo de maquinagem
Primeiro aperto	1	Desbaste de planos	0:00:58
Primeiro aperto	2	Pré Contorno	0:23:53
Primeiro aperto	3	Pré Planos	0:00:48
Primeiro aperto	4	Pré Planos	0:51:09
Primeiro aperto	5	Acabamentos Planos	0:00:59
Primeiro aperto	6	Furar cavilhas ϕ 4 mm	0:00:24
Primeiro aperto	7	Escarear cavilhas ϕ 4 mm	0:00:18
Primeiro aperto	8	Furar M5	0:00:17
Primeiro aperto	9	Escarear furo M5	0:00:09
Primeiro aperto	10	Roscar furo M5	0:00:46
Segundo aperto	1	Desbaste	0:56:52
Segundo aperto	2	Pré 20x2	0:08:56
Segundo aperto	3	Pré 10x1	0:04:05
Segundo aperto	4	Redução Z Pré	0:04:48
Segundo aperto	5	Pré Gravação	0:22:07
Segundo aperto	6	Furação Folga	0:05:52
Segundo aperto	7	Acabamento Gravação	0:55:21
Segundo aperto	8	Redução Raios Acabamento gravação	0:06:01
Segundo aperto	9	Pencil acabamento gravação	0:00:25
		Tempo total de maquinagem	4:04:15

Capítulo 5

Considerações Finais

5.1 Conclusões

Os casos de estudo recaem sobre a maquinagem de postiços de pequeno e médio porte, como é o caso dos postiços da cavidade, postiços de macho, postiços de levantador, e ainda levantadores, em que cada postiço representa um protótipo, visto que são casos únicos e em que é difícil encontrar dois postiços iguais. Daí resulta que nalguns casos se tenha apenas estudado a influência da geometria dos postiços, seleção do sistema de fixação dos mesmos e ainda em que aspeto é que o material dos mesmos afeta o processo de maquinagem. Sempre que possível comparou-se os tempos de maquinagem em 5 eixos posicionais e 5 eixos contínuos, como se verifica em três casos de estudo.

Com base nos resultados obtidos, as seguintes conclusões podem ser apresentadas:

- Para postiços com uma altura superior a 250 mm, deve-se utilizar o sistema de fixação por *interloks*;
- Para acabamento de gravações e zonas de ajustamento do postiço, deve-se utilizar o sistema de fixação por *chucks*, de modo a obter um melhor acabamento superficial;
- Para postiços com dimensões geométricas idênticas e operações de maquinagem parecidas, a utilização da palete desenvolvida para fixar no máximo 30 postiços, é a que apresenta melhores resultados ao nível de *set-up* dos mesmos;
- A utilização da estratégia *swarf* (5 eixos contínuos), em fresagem de contorno para paredes laterais a direito, reduz imenso o tempo de maquinagem face ao tempo necessário em 5 eixos posicionais;

Assim, conclui-se que para a maquinagem de postiços de pequeno e médio porte, a maquinagem a 5 eixos posicionais é melhor que a maquinagem de 5 eixos contínuos, à exceção do acabamento em contorno utilizando a estratégia *swarf*, embora esta estratégia esteja muito dependente da geometria do postiço.

5.2 Trabalhos Futuros

Terminado o presente estudo do processo de maquinagem de postiços em 5 eixos posicionais e 5 eixos contínuos, são apresentadas algumas propostas de melhoria ao processo:

- Aplicação da estratégia *swarf* a paredes laterais com gravações e não completamente lisas;
- Aplicação da estratégia *swarf* em caixas de ajustamento com contra-saída;
- Otimização do processo de maquinagem a 5 eixos contínuos no acabamento de gravações;
- Definição de metodologias de verificação em furos de precisão.

Bibliografia

Albert, M.- An Overview of 3+2 Machining. **Modern Machine Shop** [Em linha]. (2006). [Consult. 30 Março 2016]. Disponível em WWW: `http://www.mmsonline.com/articles/an-overview-of-3-2-machining`

Cefamol-Associação Nacional da Indústria de Moldes. **A Indústria Portuguesa de Moldes** [Em linha]. (2015). [Consult. 7 Março 2016]. Disponível em WWW: `http://www.cefamol.pt/cefamol/pt/Cefamol_IndustriaMoldes/Situacao_Actual/Ficheiros/IPM_Janeiro%202015_PT.pdf`

Davim, J. P., Correia, A. E.- **Maquinagem a Alta Velocidade**. 1ª ed. Publindústria, Edições Técnicas , 2006. ISBN 972-8953-05-4

Davim, J. P.- **Machining:Fundamentals and Recent Advances**. 1ª ed. New York: Springer-Velag , 2008. ISBN 978-1-8480-0212-8

Davim, J. P.- **Machining of Complex Sculptured Surfaces**. 1ª ed. New York: Springer , 2012. ISBN 978-1-4471-2355-2

Delcam-**PowerMILL 5-axis: Training Course** [Em linha]. (2015). [Consult. 27 Abril 2016].

DMG MORI SEIKI Europe AG-**Five-axis universalmachining centres-DMU eVo series** [Em linha]. (2015). [Consult. 27 Abril 2016]. Disponível em WWW: `http://en.dmgmori.com/blob/120484/ac398b16d68a0b4ba38c645f4a75b07a/pm0uk15-dmu-evo-series-pdf-data.pdf`

Endl, R., Jaje, J.- The Challenges for CAM Systems and Users in 5-Axis Machining. **Journal of Materials Processing Technology**. 130:131 (2012) 641-646.

Ghionea, I., Ghionea, A.- Optimization by simulation of surface machining on CNC machine tools using CAD-CAM techniques. **Scientific Bulletin**. (2009).

Harik, R., Capponi, V., Lombard, M., Ris, G.- Enhanced functions supporting process planning for aircraft structural parts. **Computational Engineering in Systems Applications**. 4:6 (2006).

Jun, C-S., Cha, K., Lee, Y-S.- Optimizing tool orientations for 5-axis machining by configuration-space search method. **Computer-Aided Design**. 3:5 (2003) 549-566.

Junga, Y.H.,Lee, D.W., Kimb, J.S.,Mok, H.S. - NC post-processor for 5-axis milling machine of table-rotating/tilting type. **Journal of Materials Processing Technology**. 130:131 (2002) 641-646.

Karaguzel, U., Olgun, U., Uysal, E.- **New Production Technologies in Aerospace Industry: Proceedings of the 4th Machining Innovations Conference, Hannover, September 2013**. 1ª ed. New York: Springer International Publishing , 2014. ISBN 978-3-319-01964-2

Keith, J.- How to choose the right toolholder. **MoldMakink Technology** [Em linha]. (2007). [Consult. 1 Abril 2016]. Disponível em WWW: `http://www.moldmakingtechnology.com/articles/how-to-choose-the-right-toolholder`

Merlet, J. P. - **Parallel Robots**. 2ª ed. Kluwer: Springer Science & Business Media, 2006.

Pellegrinelli, S., Terkaj, W., Urgo, M.- CA concept for a pallet configuration approach using zero-point clamping systems. **Procedia CIRP**. 41 (2016) 123-128.

Roth, D., Bedi, S., Ismail, F., Mann, S.- Surface swept by a toroidal cutter during 5-axis machining. **Computer-Aided Design**. 3:3 (2001) 57-63.

SIEMENS AG-**SINUMERIK 840D Manual, Tool and Mold Making** [Em linha]. (2007). [Consult. 29 Março 2016]. Disponível em WWW: `https://www.siemens.be/cmc/upload/asap2/EIT_Machine_Tools/Release-1569/SIN_WF_0807_en_1471438.pdf`

Tutunea-Fatan, O. R., Feng, H-Y.- Configuration analysis of five-axis machine tools using a generic kinematic model. **International Journal of Machine Tools & Manufacture Design, Research & Application**. 4:4 (2004) 1235-1243.

Verellen, J.- Maximum RPM Machining: Necessities of High-Speed Moldmaking **MoldMakink Technology** [Em linha]. (2005). [Consult. 1 Abril 2016]. Disponível em WWW: `http://www.moldmakingtechnology.com/articles/maximum-rpm-machining-necessities-of-high-speed-moldmaking`

Walsh, R. A., Cormier, D. R.- **McGraw-Hill Machining and Metalworking Handbook**. 3ª ed. The McGraw-Hill Companies , 2005. ISBN 0-07-145787-9

Anexos

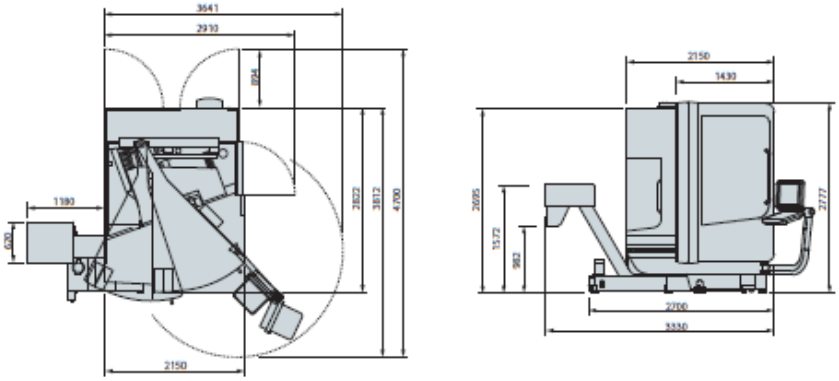
Anexo A: DMU 60 eVo linear

Tabela A.1: Características DMU 60 eVo linear (DMG MORI SEIKI, 2015).

		DMU 60 eVo *linear*
Work area		
Traverse path X	mm	600
Traverse path Y (across)	mm	500
Traverse path Z (vertical)	mm	500
Spindle nose to table distance	mm	125–625
Main drive		
AC motor spindle	rpm	14,000
Drive power (40 / 100 % DC)	kW	18.9 / 14
Torque (40 / 100 % DC)	Nm	100 / 74
AC motor spindle	rpm	18,000
Drive power (40 / 100 % DC)	kW	35 / 25
Torque (40 / 100 % DC)	Nm	130 / 87
AC motor spindle	rpm	24,000
Drive power (40 / 100 % DC)	kW	24 / 16
Torque (40 / 100 % DC)	Nm	100 / 67
Feed Drives		
Standard option rapid traverse linear axes X / Y / Z	m/min	50
Dynamic option rapid traverse linear axes X / Y / Z*	m/min	80
NC-swivel rotary table		
Clamping surface	mm × mm	ø 630 / 600 × 500
Maximum load	kg	400
Swivel range B-axis	Degrees	–5 / +110
Rotation range C-axis	Degrees	360
Rapid traverse rotary axis B / C	rpm	60
Dimensions		
Footprint (without control cabinet fan)	mm × mm	2,150 × 2,830
Height	mm	2,780

Control	
DMG ERGO*line*® Control	Siemens 840D solutionline
with a 19" screen and 3 D software	Heidenhain iTNC 530

* Optional



Anexo B: Calibração do equipamento DMU 60 eVo linear

METALLURGICA VENETA
ACCIAI SPECIALI

Certified Company IQNet CSQ

1.2738

Quality	40CrMnNiMo8-6-4	Supply conditions:
According to standards	EN ISO 4957: 2002	Quenched and Tempered
Number	1.2738	

Chemical composition

C%	Si%	Mn%	P% max	S% max	Cr%	Mo%	Ni%
0,35-0,45	0,20-0,40	1,30-1,60	0,035	0,035	1,80-2,10	0,15-0,25	0,90-1,20
± 0.03	± 0.03	± 0.08	+ 0.005	+ 0.005	± 0.07	± 0.03	± 0.07

Product deviations are allowed

Upon agreement, the sulphur content can be increased to 0,05-0,10%

Temperature °C

Hot-forming	Normalizing	Quenching	Tempering	Tempering
1050-850	850-890 air	840-860 oil or polymer	860-880 calm or forced air	500-600 calm air minimum **2** cycles

Soft annealing	Stress-relieving	Pre-heating welding		Stress-relieving after welding	
710-740 furnace cooling max 20° h to 600, then air (HB max 235)	50° under the temperature of tempering	250-300		500 furnace cooling	
		Ac1	**Ac3**	**Ms**	**Mf**
		705	795	215	20

Mechanical properties

Heat treatment: quenching at 850 °C in oil, tempering at 600 °C

	N/mm²	N/mm²	**Kv** longitudinal J							**HB** at the depth **mm**						
R	1020	900	18	20	25	35	40	50	75	340	340	340	336	330	310	HB
Rp 0.2	900	760								**100**	**200**	**300**	**400**	**500**	**600**	mm
Test at °C	**20**	**200**	**0**	**20**	**40**	**60**	**80**	**100**	**120**							

Tempering table values at room temperature on round of Ø 25 mm after quenching at 860 °C in oil

HB		512	512	504	482	475	468	448	432	409	390	353	319	286
HRC		52	52	51.5	50	49.5	49	47.5	46	44	42	38	34	30
R	N/mm²	1880	1880	1850	1760	1730	1700	1600	1520	1430	1340	1180	1050	950
Kv +20°	J						10	10	10	10	10	14	20	32
Tempering at °C		**50**	**100**	**150**	**200**	**250**	**300**	**350**	**400**	**450**	**500**	**550**	**600**	**650**

Thermal expansion	$10^{-6} \cdot K^{-1}$			12.8	13.0	13.4	13.8	14.0	14.2	14.2	14.5
Modulus of elasticity	long.	GPa	210			196			177		
Modulus of elasticity	tang.	GPa	81			75			68		

Quality	X37CrMoV5-1	Supply conditions:
According to standards	EN ISO 4957: 2002	Annealed or
Number	1.2343	Quenched and Tempered

TECHNICAL CARD
GRUPPO LUCEFIN
REVISION 2013

GRUPPO LUCEFIN Lovin' Steel

Chemical composition

C%	Si%	Mn%	P% max	S% max	Cr%	Mo%	V%
0,33-0,41	0,80-1,20	0,25-0,50	0,030	0,020	4,80-5,50	1,10-1,50	0,30-0,50
± 0.02	± 0.05	± 0.04	+ 0.005	+ 0.005	± 0.10	± 0.05	± 0.04

Product deviations are allowed

Temperature °C

Hot-forming	Quenching +Q	Tempering see table +T	Stress-relieving +SR	Stress-relieving must be done after machining and before quenching
1050-900	heating up to 800, pause, then 1000-1040 oil, polymer, s.b. (HRC ~ 54)	immediately after quenching minimum **2 cycles**	600-650 furnace cooling to 350 after, air	

Soft annealing +A	Spheroidized annealing	Stress-relieving [1] +SR	Pre-heating welding		Stress-relieving after welding
800-810 furnace cooling max 25°/h to 600, then air (HB max 229)	845-885 cool 22 °C/h in furnace to 480 then raplidly in air (HB 192-229)	50° under the temperature of tempering	350		[1]
			A_{C1}	A_{C3}	M_s	M_f
			830	890	310	80

s.b. = salt bath (450-500 °C)

Mechanical properties

Tempering table after quenching at 1020 °C in oil. Values on test Ø 20 mm

HB	543	525	518	512	512	518	534	550	568	577	512	432	362	286
HRC	54	53	52.5	52	52	52.5	53.5	54.5	55.5	56	52	46	39	30
R N/mm²	2010	1950	1915	1880	1880	1915	1980	2040	2115	2160	1880	1520	1220	950
Kv +20 °C J	16	16	16	18	20	20	22	20	18	16	18	48	62	
Tempering at **°C**	**50**	**100**	**150**	**200**	**250**	**300**	**350**	**400**	**450**	**500**	**550**	**600**	**650**	**700**

In order to obtain good tenacity (Kv) two tempers are advised

Thermal expansion	$10^{-6} \cdot K^{-1}$	►	11.5	12.0	12.2	12.5	12.9	13.0		13.2
Modulus of elasticity long.	GPa	215				183	176	165		
Modulus of elasticity tang.	GPa	82				70	68	63		
R hardened and tempered	N/mm²	**1600**			1400	1300	1100	800	600	
Rp 0.2	N/mm²	1450			1200	1100	900	600	400	
R hardened and tempered	N/mm²	**1200**			1120	1000	850	580	400	
Rp 0.2	N/mm²	1060			900	800	650	420	250	
Specific heat capacity	J/(Kg•K)	460					550	590		
Thermal conductivity	W/(m•K)	25.0					28.5	29.3		
Density	Kg/dm³	7.80					7.64	7.60		
Specific electric resist.	Ohm•mm²/m	0.52					0.86	0.96		
Electrical conductivity	Siemens•m/mm²	1.92					1.16	1.04		
°C		**20**	**100**	**200**	**300**	**400**	**500**	**600**	**650**	**700**

The symbol ► indicates temperature between 20 °C and 100 °C, 20 °C and 200 °C ...

Europe EN	Germany DIN	China GB	Japan JIS	India IS	R. of Korea KS	Russia GOST	USA AISI/SAE
X37CrMoV5-1	X38CrMoV5-1	4Cr5MoSiV	SKD 6	XT35Cr5Mo1V3	STD 6	4Ch5MFS	H 11

Quality	X40CrMoV5-1	Supply conditions:
According to standards	EN ISO 4957: 2002	Annealed
Number	1.2344	

TECHNICAL CARD
GRUPPO LUCEFIN
REVISION 2013

GRUPPO LUCEFIN Lovin' Steel

Chemical composition

C%	Si%	Mn%	P% max	S% max	Cr%	Mo%	V%
0,35-0,42	0,80-1,20	0,25-0,50	0,030	0,020	4,80-5,50	1,20-1,50	0,85-1,15
± 0.02	± 0.05	± 0.04	+ 0.005	+ 0.005	± 0.10	± 0.05	± 0.05

Product deviations are allowed

Temperature °C

Hot-forming	Quenching +Q	Tempering see table +T	Stress-relieving +SR	
1050-900	heating up to 800, pause, then 1020-1080 oil, polymer, s.b. (HRC ~ 55)	immediately after quenching minimum **2 cycles**	600-650 furnace cooling to 350, then air	Stress-relieving must be done after machining and before quenching

Soft annealing +A	Isothermal annealing +I	Spheroidized annealing	Pre-heating welding		Stress-relieving after welding	
820 furnace cooling (HB max 229)	880 furnace cooling to 780, pause, then furnace cooling to 750, then air	860-900 cool 22 °C/h in furnace to 480 then raplidly in air (HB 192-229)	350		650 furnace cooling	
			Ac1	Ac3	Ms	Mf
			830	915	300	80

s.b. = salt bath (450-500 °C)

Mechanical properties

Tempering table after quenching at 1040 °C in oil. Values on Ø 20 mm

HB	560	543	525	512	504	512	525	543	577	577	512	455	390	301
HRC	55	54	53	52	51.5	52	53	54	56	56	52	48	42	32
R N/mm²	2070	2010	1950	1880	1850	1880	1950	2010	2160	2160	1880	1640	1340	1010
Tempering at **°C**	**50**	**100**	**150**	**200**	**250**	**300**	**350**	**400**	**450**	**500**	**550**	**600**	**650**	**700**

Thermal expansion	$10^{-6} \cdot K^{-1}$ ►		10.0	10.7	10.8	11.3	11.8	12.3	12.7	13.0	13.2
Modulus of elasticity	long.	GPa			210	205	198	191	182	173	
Modulus of elasticity	tang.	GPa			80	78	75	73	69	66	
R +QT	N/mm²				**1600**			1400	1300	1100	800
Rp 0.2	N/mm²				1460			1200	1100	900	600
R +QT	N/mm²				**1200**			1120	1000	850	580
Rp 0.2	N/mm²				1060			900	800	650	420
Specific heat capacity	J/(Kg•K)				461	479	499	517	536	558	587
Thermal conductivity	W/(m•K)				19.2	20.1	22.4	24.0	25.1	25.8	26.1
Density	Kg/dm³				7.74						
Specific electric resist.	Ohm•mm²/m				0.543	0.638	0.705	0.782	0.868	0.96	1.06
Electrical conductivity	Siemens•m/mm²				1.84	1.57	1.42	1.28	1.15	1.04	0.94
°C			**-100**	**0**	**20**	**100**	**200**	**300**	**400**	**500**	**600**

The symbol ► indicates temperature between -100 °C and 0 °C, -100 °C and 20 °C ...

Nitriding in gaseous ammonia. The material should be hardened and tempered at min. 580 °C before nitriding

°C	Time **h**	Depth of hardening **mm**	Surface hardness **HV**
525	10	0,125	1000 - 1250
525	20	0,180	1000 - 1250
525	40	0,250	1000 - 1250
525	60	0,300	1000 - 1250

Europe EN	Germany DIN	China GB	Japan JIS	India IS	R. of Korea KS	Russia GOST	USA AISI/SAE
X40CrMoV5-1	X40CrMoV5-1	4Cr5MoSiV1	SKD 61	XT35Cr5MoV1	STD 61	4Ch4VMFS	H 13

AMPCO METAL
Excellence in engineered alloys

Technical Data Sheet

AMPCOLOY® 944

Extruded

Nominal composition:

Copper	(Cu)	90%
Nickel	(Ni)	7.0%
Silicon	(Si)	2.0%
Chromium	(Cr)	1.0%
Others		Max 0.5%

Nearest international specifications:

D	**DIN**	
F	**AFNOR**	
GB	**BS**	
USA	**RWMA**	**Class 4**

Mechanical and physical properties	Units	Nominal Values
Tensile strength Rm	MPa	938
Yield strength Rp0.5	MPa	730
Elongation A5	%	5
Brinell hardness	HBW 10/3000	294
Rockwell hardness	HRC	31
Compressive strength, 0.1 % perm. set	MPa	710
Charpy ak	%	12
Modulus of elasticity	GPa	151
Density p	g / cm³	8.69
Coefficient of expansion a	10^{-6} / K	15.7
Thermal conductivity λ	W / m · K	156
Electrical conductivity	% I.A.C.S.	30

Assurances given with respect to properties or uses are subject to written approval from AMPCO METAL.
AMPCOLOY® 944 has been developed by AMPCO METAL to obtain an alloy with ultimate thermal conductivity, good tensile strength and very good hardness, in order to provide an alternative to Beryllium copper, where stricter health and safety instructions on the use of noxious elements are required

APPLICATIONS:

AMPCOLOY® 944 is used wherever a good electrical or thermal conductivity is required together with high mechanical properties and wherever Beryllium copper is used :

Electrode holders and seam welding shafts

Spot welding electrodes, seam welding discs, projection and butt welding dies, principally for stainless steel and Monel

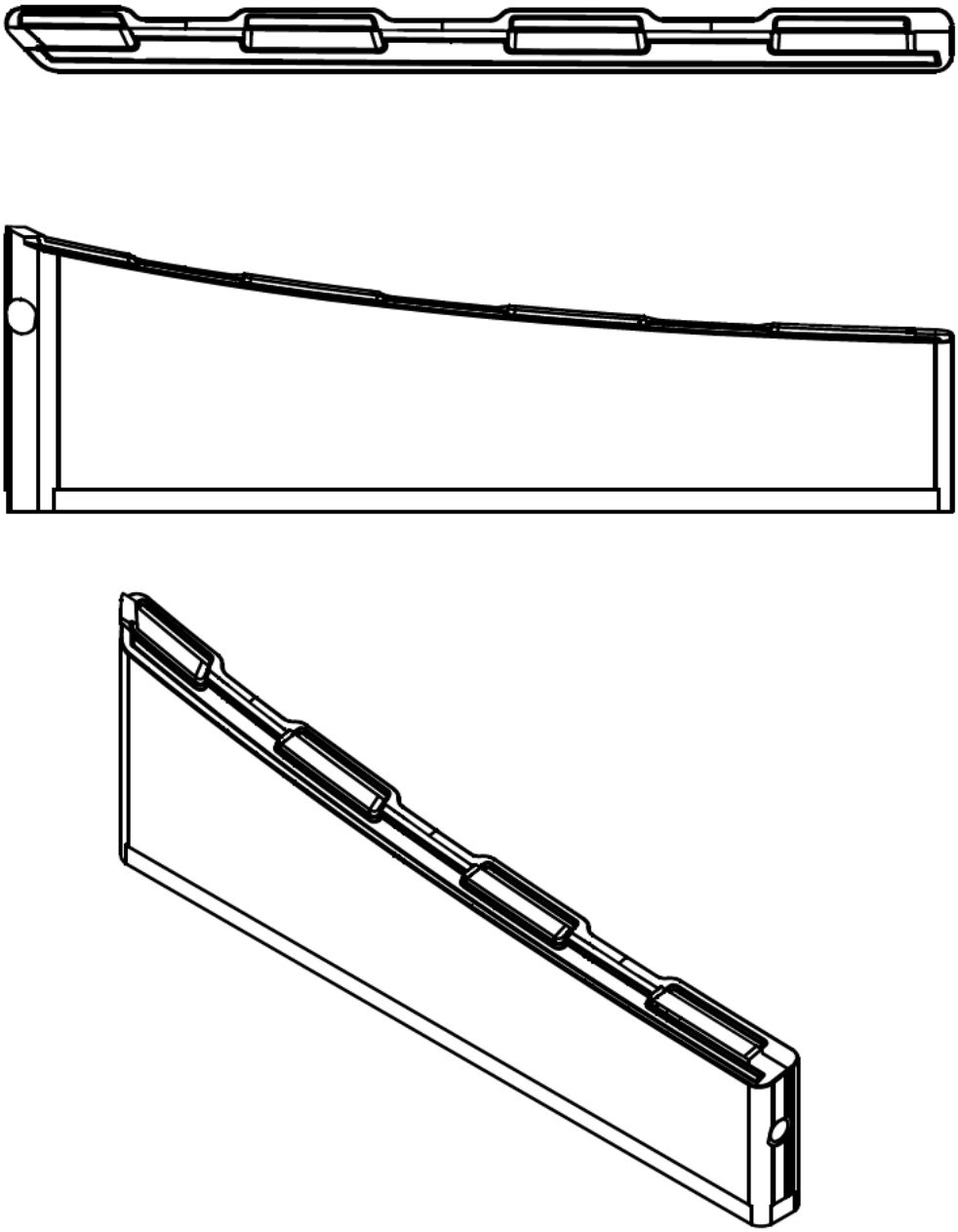
Plunger tips for cold chamber aluminium high pressure die casting machines and molds for low pressure die casting machines

Chill moulds for casting brass and certain bronzes

Parts of moulds for injection moulding of plastics, injection-nozzles and cooling pins

Anexo C: Desenho 2D dos postiços em estudo

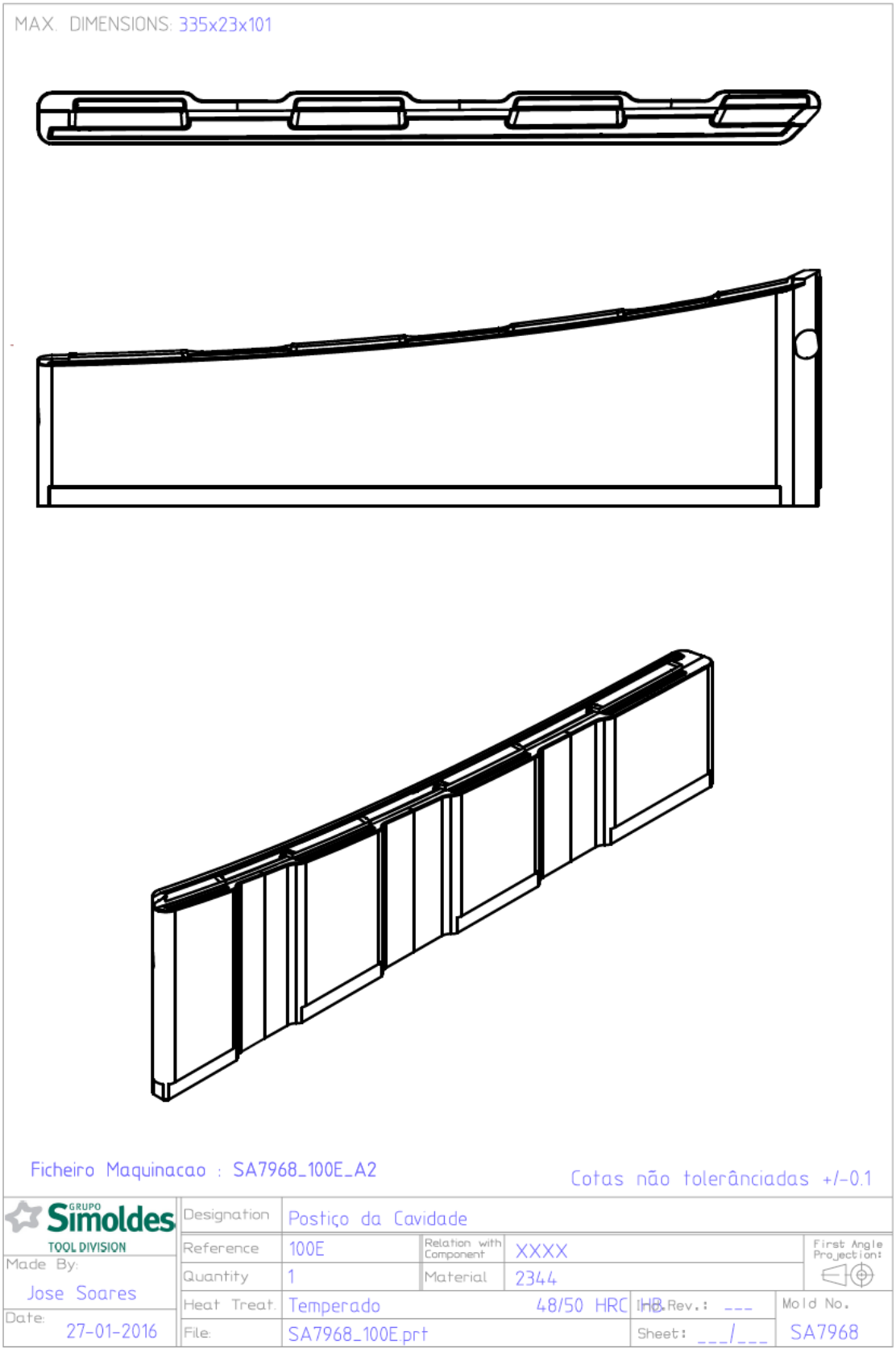
MAX. DIMENSIONS: 335x23x101



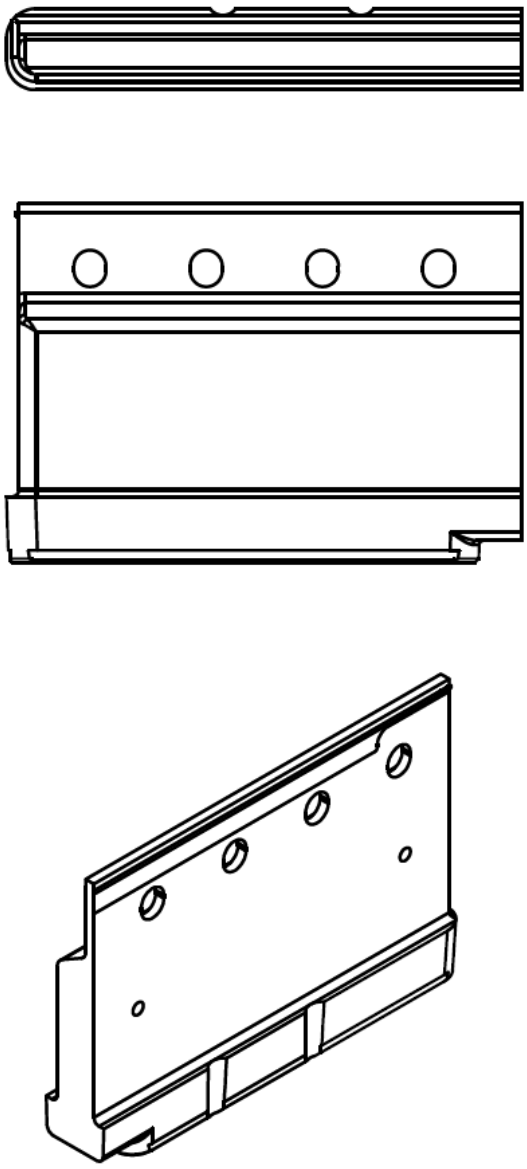
Ficheiro Maquinacao : SA7968_100B_A2

Cotas não tolerânciadas +/-0.1

GRUPO Simoldes TOOL DIVISION	Designation	Postiço da Cavidade			
Made By: Jose Soares	Reference	100B	Relation with Component	XXXX	First Angle Projection:
	Quantity	1	Material	2344	
Date: 27-01-2016	Heat Treat.	Temperado 48/50 HRC	HB	Rev.: ___	Mold No.
	File:	SA7968_100B.prt		Sheet: ___/___	SA7968


MAX. DIMENSIONS: 335x23x101
Ficheiro Maquinacao : SA7968_100E_A2
Cotas não tolerânciadas +/-0.1
GRUPO Simoldes
TOOL DIVISION
Made By:
Jose Soares
Date:
27-01-2016
Designation
Postiço da Cavidade
Reference
100E
Relation with Component
XXXX
First Angle Projection:
Quantity
1
Material
2344
Heat Treat.
Temperado
48/50 HRC
HB
Ind. Rev.: ___
Mold No.
File:
SA7968_100E.prt
Sheet: ___/___
SA7968

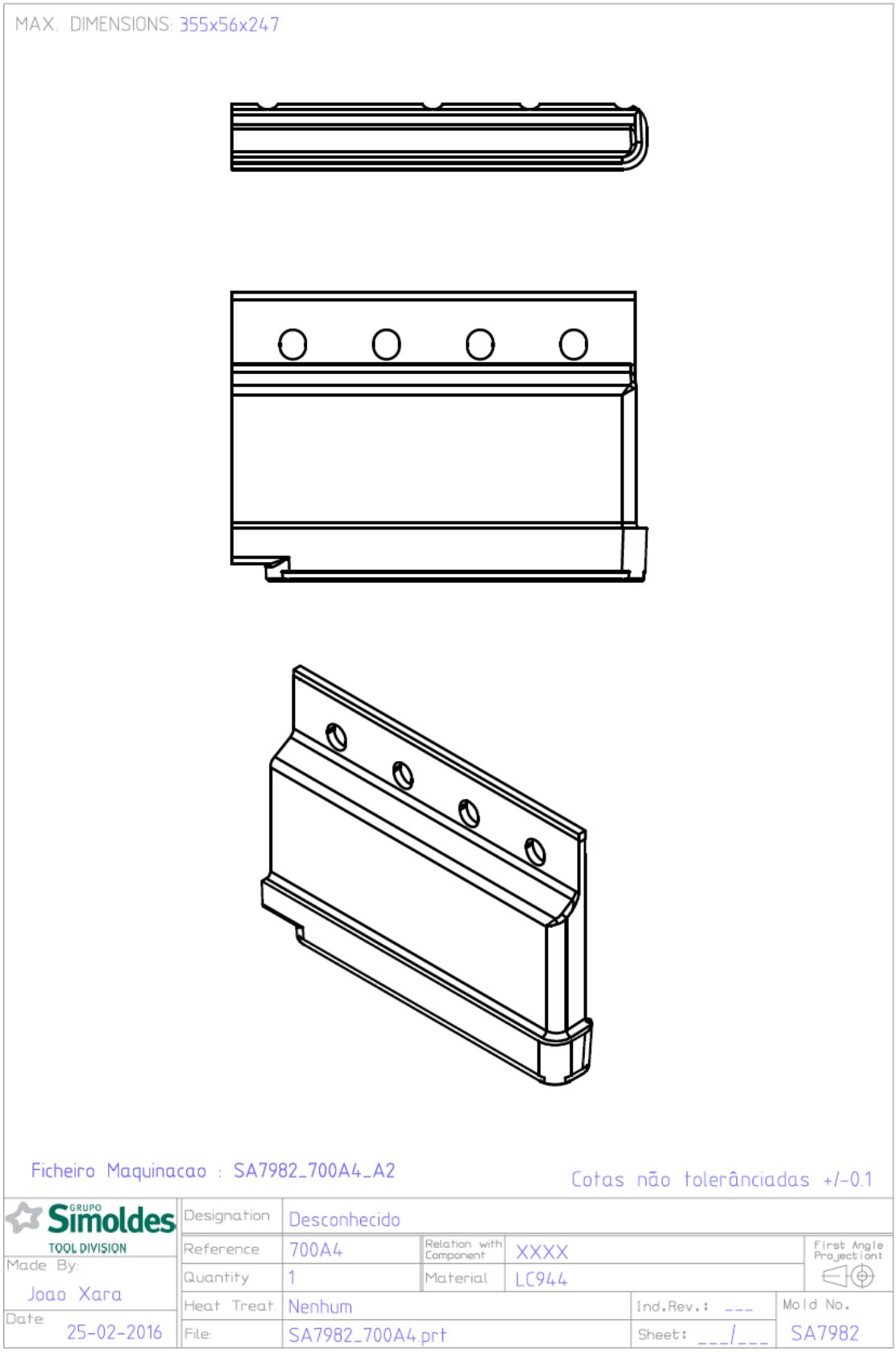
MAX. DIMENSIONS: 355x56x247

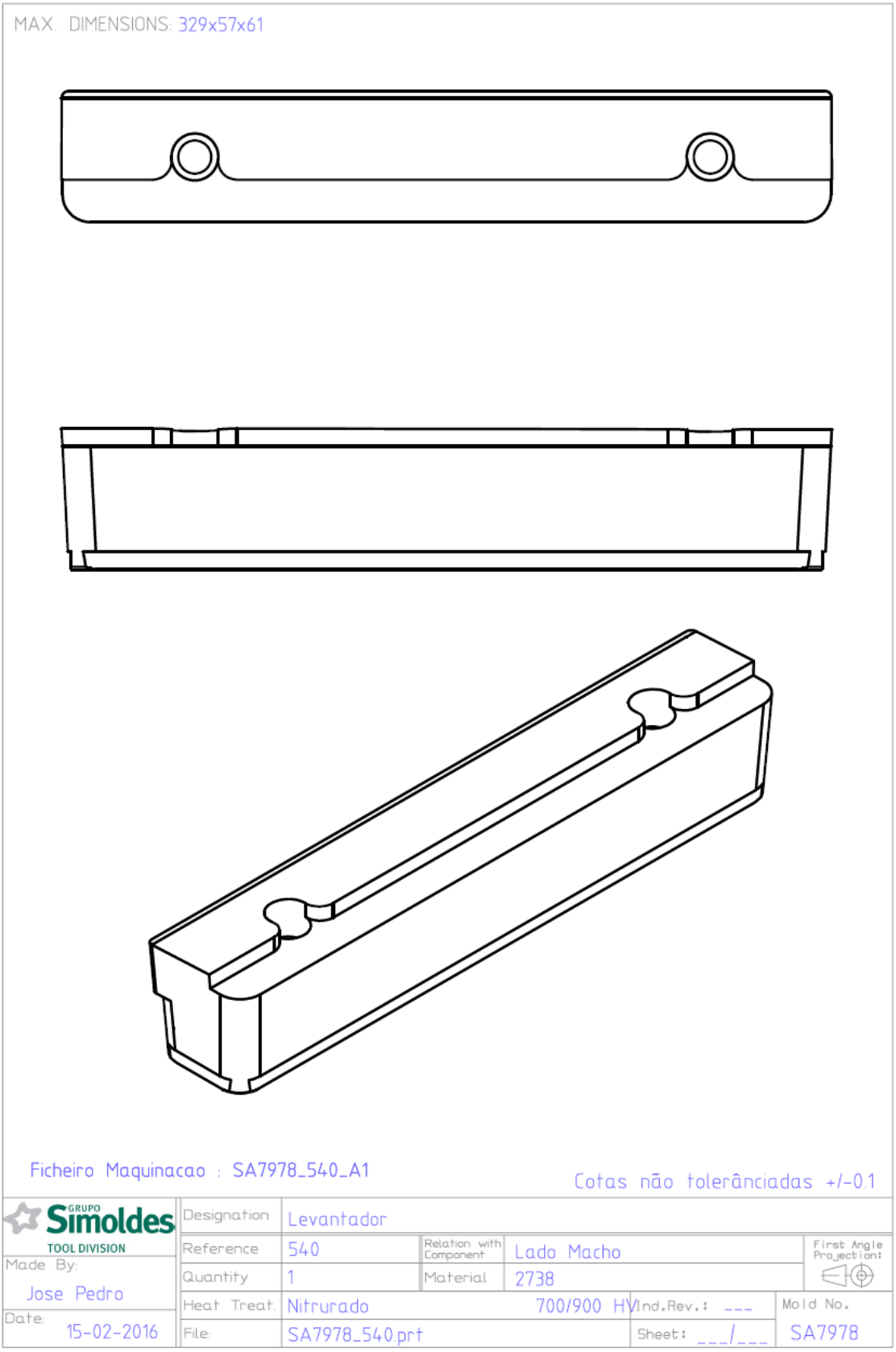


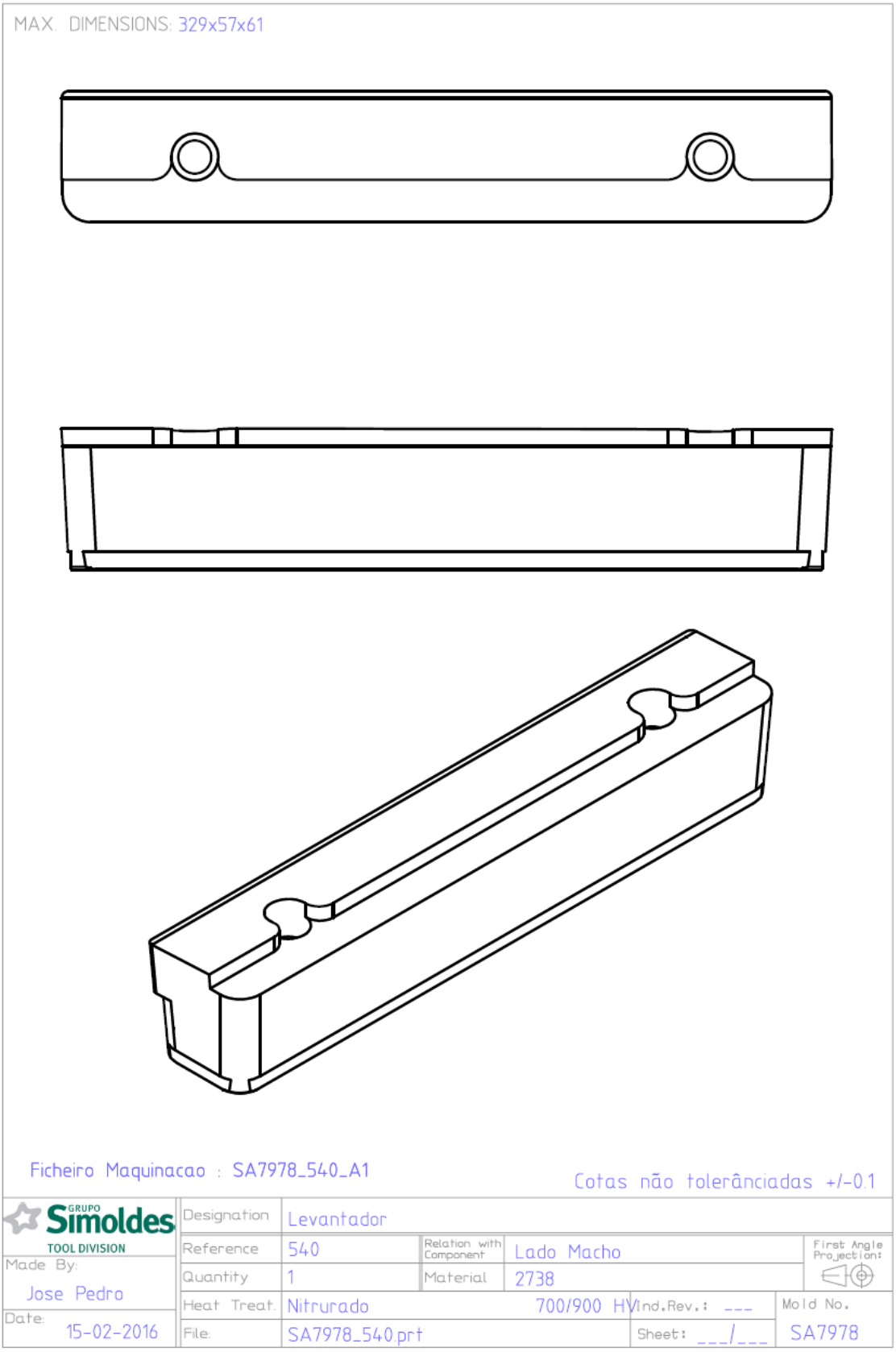
Ficheiro Maquinacao : SA7982_700A3_A2

Cotas não tolerânciadas +/-0.1

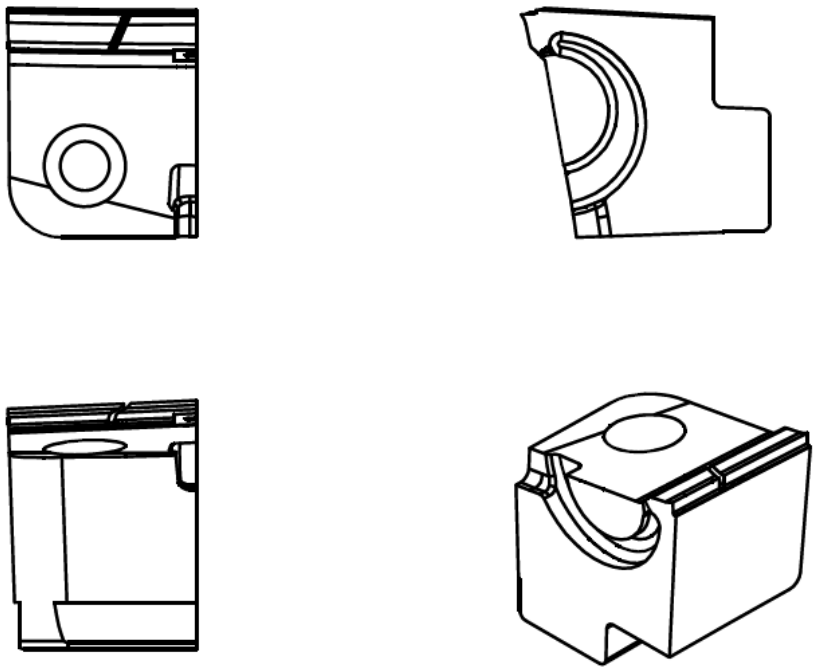
GRUPO Simoldes TOOL DIVISION	Designation	Desconhecido			
	Reference	700A3	Relation with Component	XXXX	First Angle Projection:
Made By: Joao Xara	Quantity	1	Material	LC944	
	Heat Treat.	Nenhum	Ind.Rev.: ---		Mold No.
Date: 25-02-2016	File:	SA7982_700A3.prt	Sheet: ___/___		SA7982


MAX. DIMENSIONS: 355x56x247
Ficheiro Maquinacao : SA7982_700A4_A2
Cotas não tolerânciadas +/-0.1
GRUPO Simoldes
TOOL DIVISION
Made By:
Joao Xara
Date:
25-02-2016
Designation
Desconhecido
Reference
700A4
Relation with Component
XXXX
Quantity
1
Material
LC944
First Angle Projection:
Heat Treat.
Nenhum
Ind.Rev.: ___
Mold No.
File:
SA7982_700A4.prt
Sheet: ___/___
SA7982


MAX. DIMENSIONS: 329x57x61
Ficheiro Maquinacao : SA7978_540_A1
Cotas não tolerânciadas +/-0.1
GRUPO Simoldes
TOOL DIVISION
Made By:
Jose Pedro
Date:
15-02-2016
Designation
Levantador
Reference
540
Relation with Component
Lado Macho
Quantity
1
Material
2738
First Angle Projection:
Heat Treat.
Nitrurado
700/900 HV
Ind.Rev.: ___
Mold No.
File:
SA7978_540.prt
Sheet: ___/___
SA7978


MAX. DIMENSIONS: 329x57x61
Ficheiro Maquinacao : SA7978_540_A1
Cotas não tolerânciadas +/-0.1
GRUPO Simoldes
TOOL DIVISION
Made By:
Jose Pedro
Date:
15-02-2016
Designation
Levantador
Reference
540
Relation with Component
Lado Macho
Quantity
1
Material
2738
First Angle Projection:
Heat Treat.
Nitrurado
700/900 HV
Ind.Rev.: ___
Mold No.
File:
SA7978_540.prt
Sheet: ___/___
SA7978

MAX. DIMENSIONS: 33x40x43

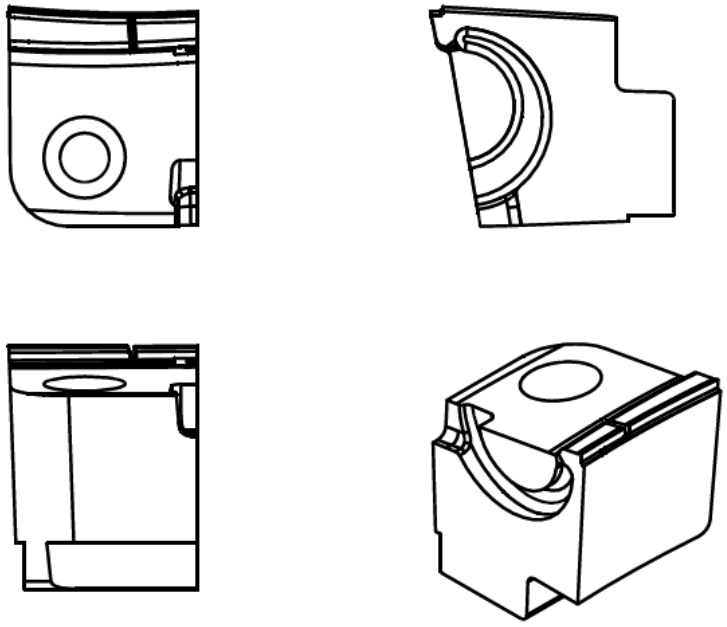


Ficheiro Maquinacao : SA7972_2001

Cotas não tolerânciadas +/-0.1

GRUPO Simoldes TOOL DIVISION	Designation	Postiço do Macho			
	Reference	2001	Relation with Component	XXXX	First Angle Projection:
Made By: Mario Coelho	Quantity	1	Material	2738	
	Heat Treat.	Nenhum	275/325 HB	Ind.Rev.: ___	Mold No.
Date: 04-02-2016	File:	SA7972_2001.prt		Sheet: ___/___	SA7972

MAX. DIMENSIONS: 33x38x42

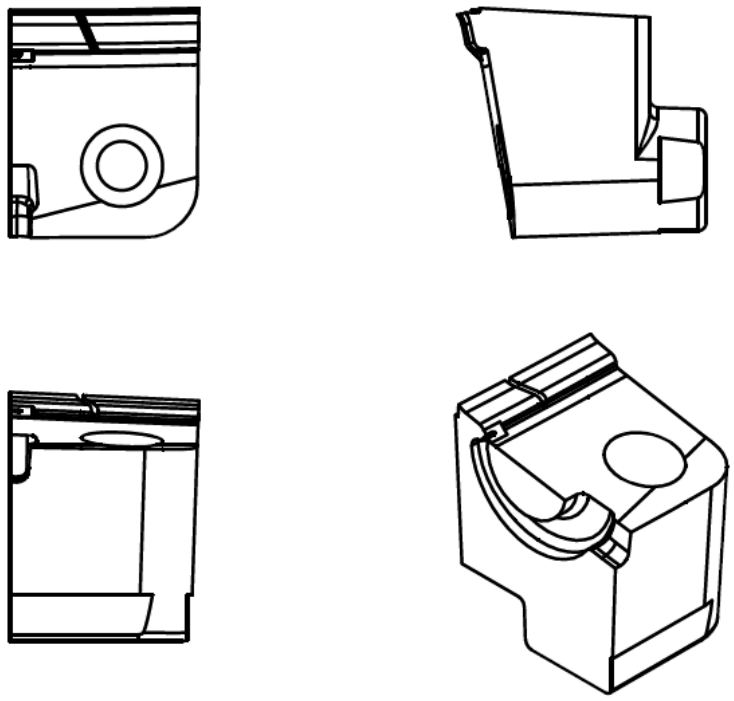


Ficheiro Maquinacao : SA7972_200K

Cotas não tolerânciadas +/-0.1

GRUPO Simoldes TOOL DIVISION	Designation	Postiço do Macho			
Made By: Mario Coelho	Reference	200K	Relation with Component	XXXX	First Angle Projection:
	Quantity	1	Material	2738	
Date: 04-02-2016	Heat Treat.	Nenhum	275/325 HB	Ind.Rev.: ___	Mold No.
	File:	SA7972_200K.prt		Sheet: ___/___	SA7972

MAX. DIMENSIONS: 33x40x43

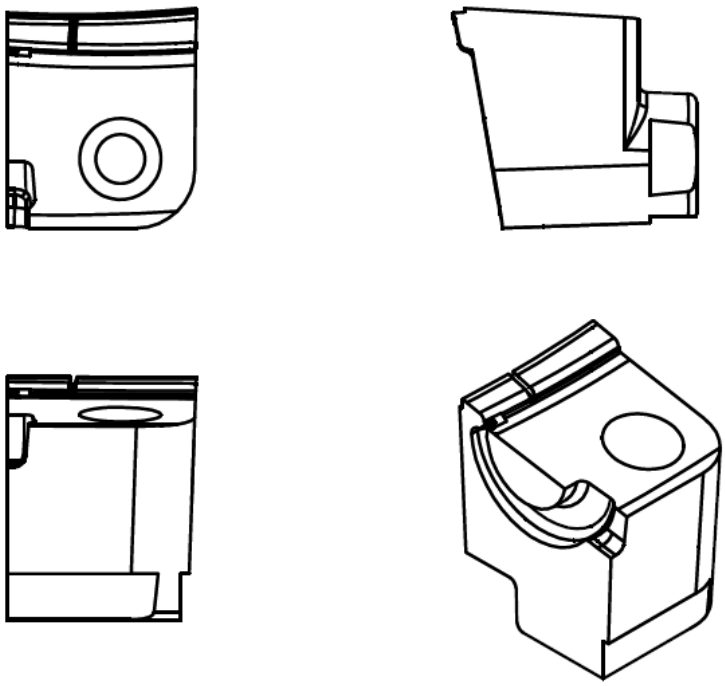


Ficheiro Maquinacao : SA7973_2001

Cotas não tolerânciadas +/-0.1

GRUPO Simoldes TOOL DIVISION	Designation	Postiço do Macho			
Made By: Mario Coelho	Reference	2001	Relation with Component	XXXX	First Angle Projection:
	Quantity	1	Material	2738	
Date: 03-02-2016	Heat Treat.	Nenhum	275/325 HB	Ind.Rev.: ___	Mold No.
	File:	SA7973_2001.prt		Sheet: ___/___	SA7973

MAX. DIMENSIONS: 33x38x42

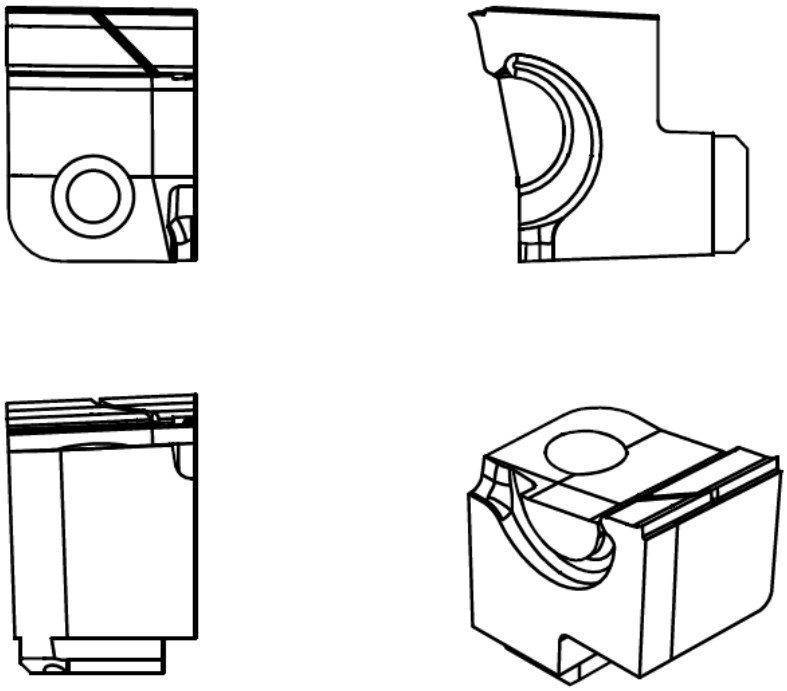


Ficheiro Maquinacao : SA7973_200K

Cotas não tolerânciadas +/-0.1

GRUPO Simoldes TOOL DIVISION	Designation	Postiço do Macho			
	Reference	200K	Relation with Component	XXXX	First Angle Projection:
Made By: Mario Coelho	Quantity	1	Material	2738	
	Heat Treat.	Nenhum	275/325 HB	Ind.Rev.: ___	Mold No.
Date: 03-02-2016	File:	SA7973_200K.prt		Sheet: ___/___	SA7973

MAX. DIMENSIONS: 33x44x48

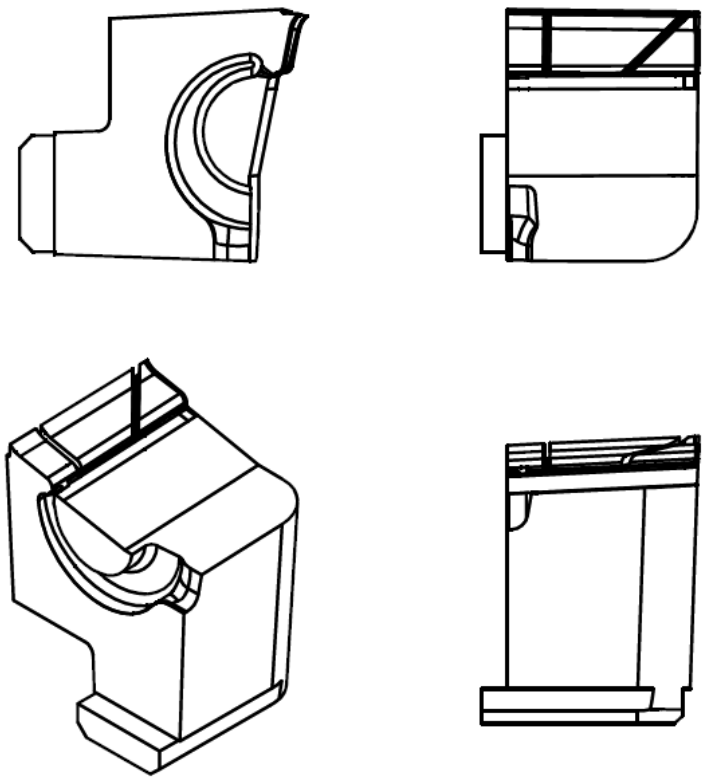


Ficheiro Maquinacao : SA7974_540A

Cotas não tolerânciadas +/-0.1

GRUPO Simoldes TOOL DIVISION	Designation	Postiço do Levantador			
	Reference	540A	Relation with Component	XXXX	First Angle Projection:
Made By: Joao Xara	Quantity	1	Material	2738	
	Heat Treat.	Nitrurado 700/900 HV	Ind.Rev.: ---		Mold No.
Date: 10-02-2016	File:	SA7974_540A.prt	Sheet: ___/___		SA7974

MAX. DIMENSIONS: 38x44x50

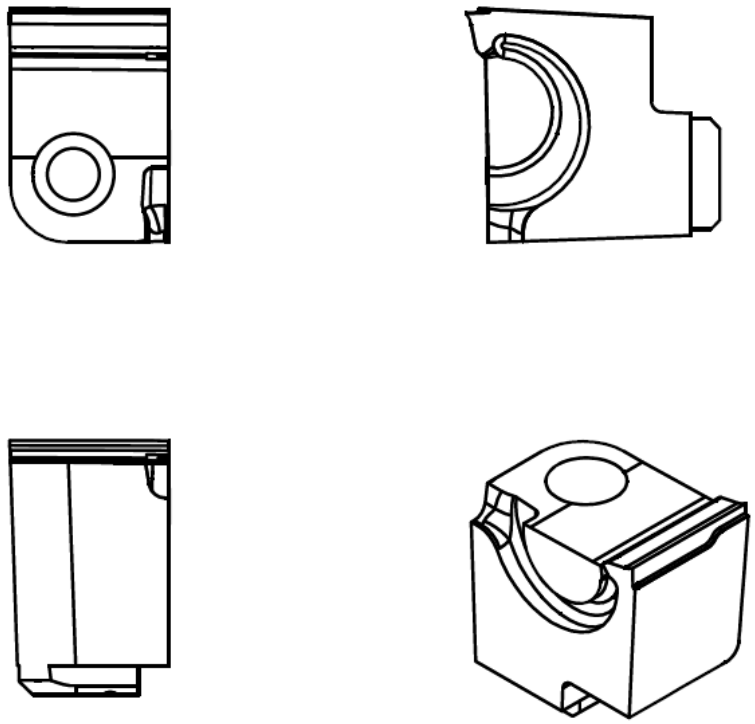


Ficheiro Maquinacao : SA7974_540B

Cotas não tolerânciadas +/-0.1

GRUPO Simoldes TOOL DIVISION	Designation	Postiço do Levantador			
Made By: Joao Xara	Reference	540B	Relation with Component	XXXX	First Angle Projection:
	Quantity	1	Material	2738	
Date: 10-02-2016	Heat Treat.	Nitrurado 700/900 HV	Ind.Rev.: ___		Mold No.
	File:	SA7974_540B.prt	Sheet: ___/___		SA7974

MAX. DIMENSIONS: 28x41x44

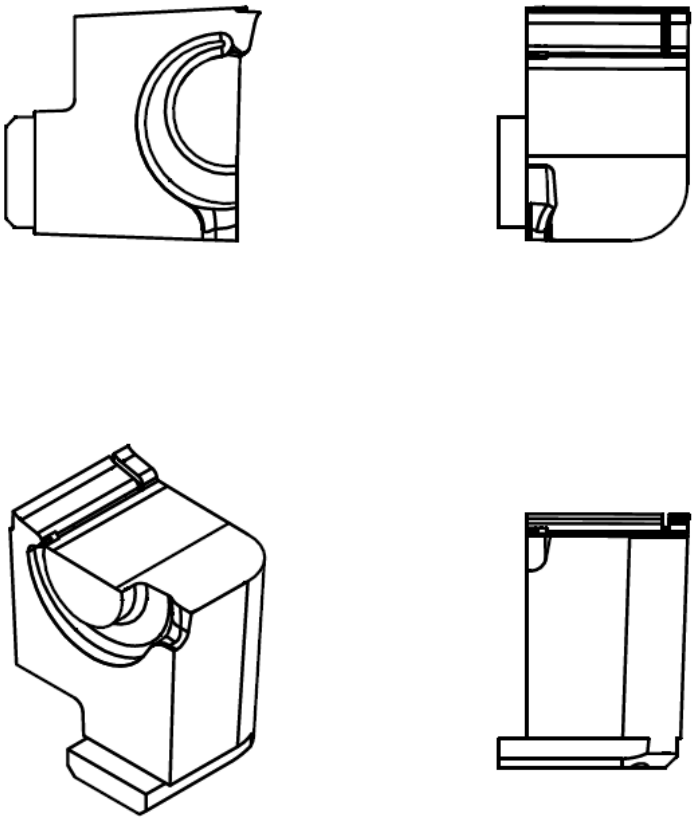


Ficheiro Maquinacao : SA7974_541A

Cotas não tolerânciadas +/-0.1

GRUPO Simoldes TOOL DIVISION	Designation	Postiço do Levantador			
Made By: Joao Xara	Reference	541A	Relation with Component	XXXX	First Angle Projection:
	Quantity	1	Material	2738	
Date: 10-02-2016	Heat Treat.	Nitrurado 700/900 HV	Ind.Rev.: ___		Mold No.
	File:	SA7974_541A.prt	Sheet: ___/___		SA7974

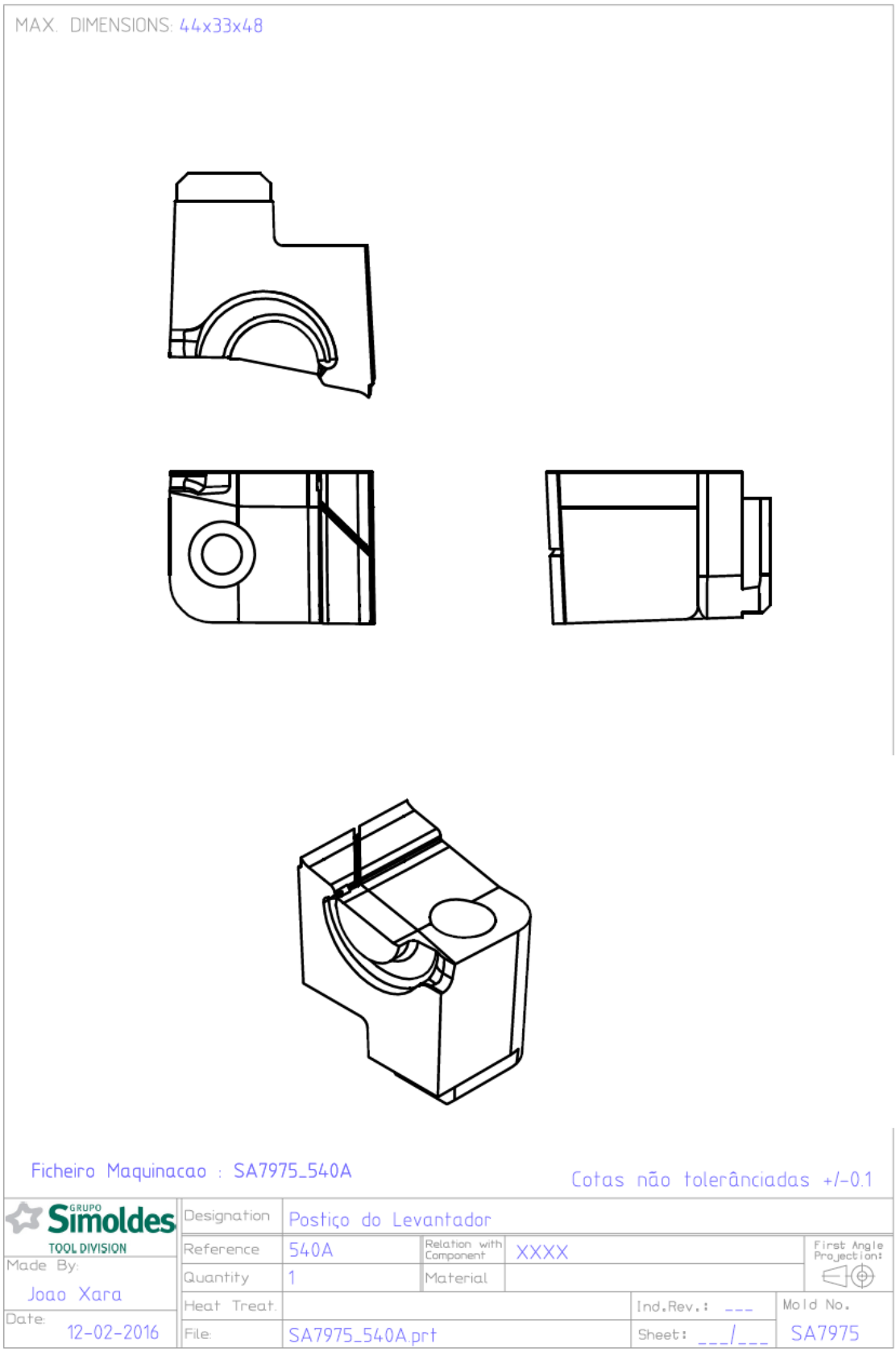
MAX. DIMENSIONS: 33x41x44



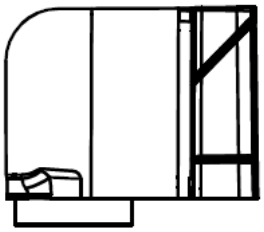
Ficheiro Maquinacao : SA7974_541B

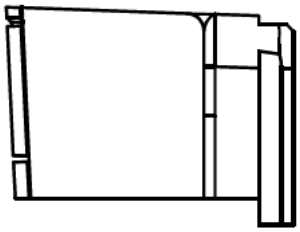
Cotas não tolerânciadas +/-0.1

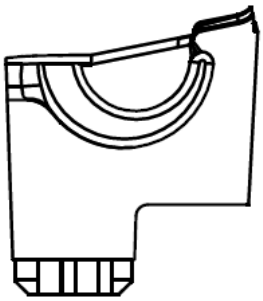
GRUPO Simoldes TOOL DIVISION	Designation	Postiço do Levantador			
	Reference	541B	Relation with Component	XXXX	First Angle Projection:
Made By: Joao Xara	Quantity	1	Material	2738	
	Heat Treat.	Nitrurado 700/900 HV	Ind.Rev.: ---		Mold No.
Date: 10-02-2016	File:	SA7974_541B.prt	Sheet: ___/___		SA7974

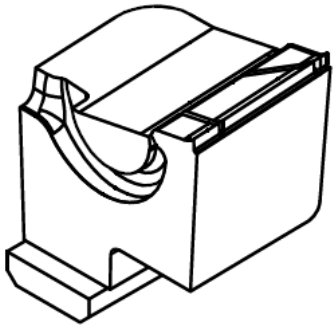

MAX. DIMENSIONS: 44x33x48
Ficheiro Maquinacao : SA7975_540A
Cotas não tolerânciadas +/-0.1
GRUPO Simoldes
TOOL DIVISION
Made By:
Joao Xara
Date:
12-02-2016
Designation
Postiço do Levantador
Reference
540A
Relation with Component
XXXX
First Angle Projection:
Quantity
1
Material
Heat Treat.
Ind.Rev.: ___
Mold No.
File:
SA7975_540A.prt
Sheet: ___/___
SA7975

MAX. DIMENSIONS: 44x38x50





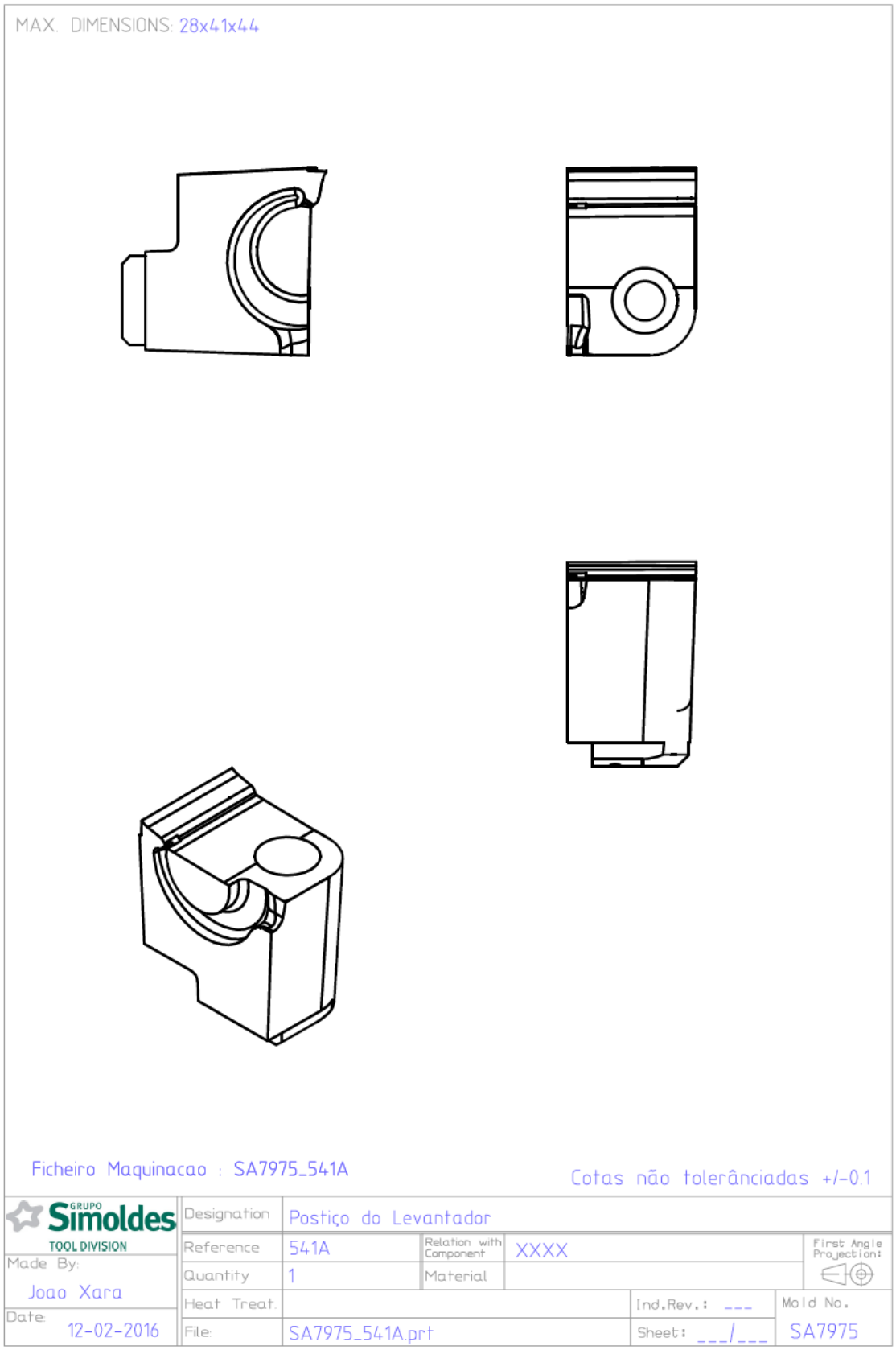


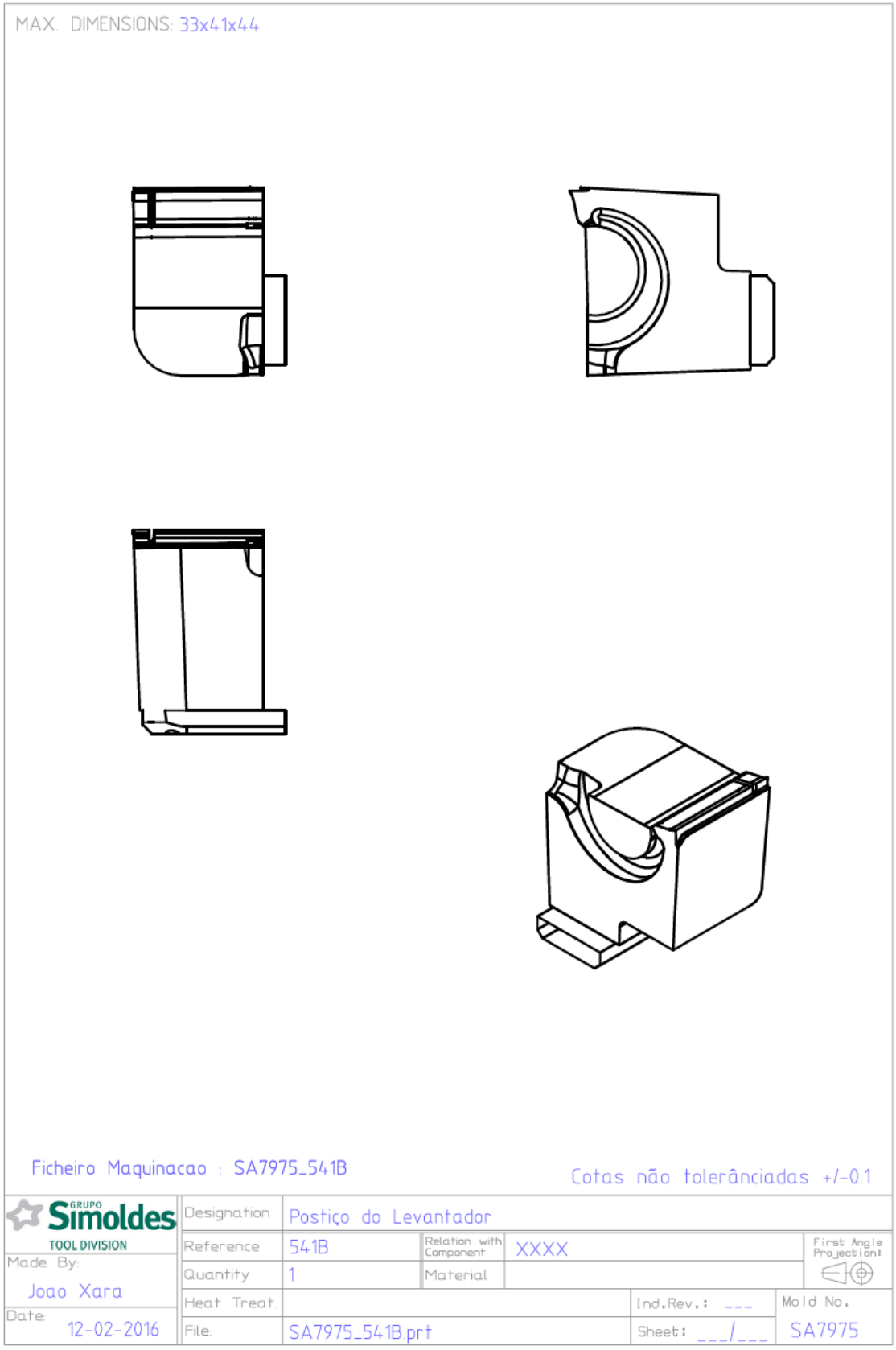


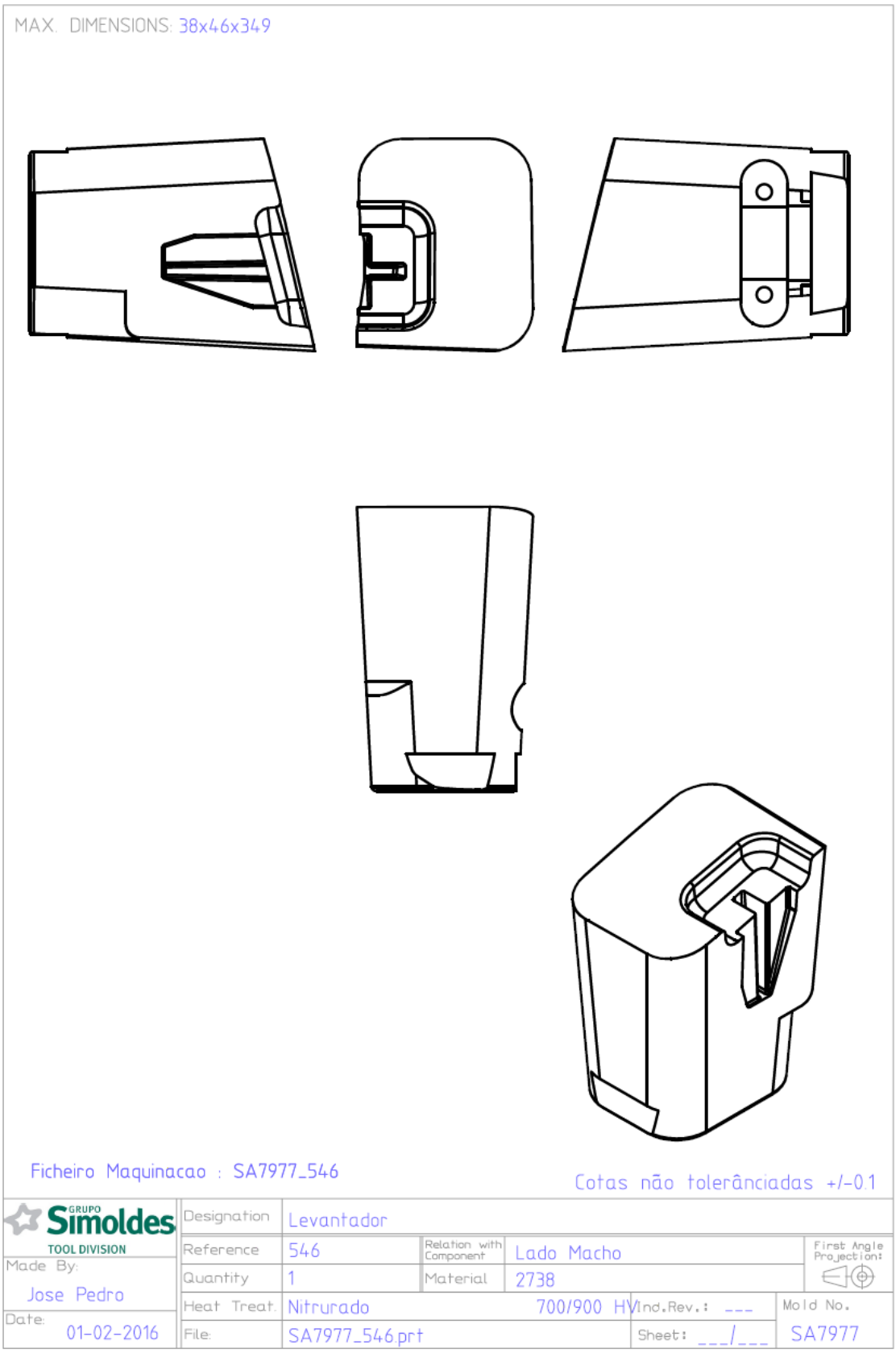
Ficheiro Maquinacao : SA7975_540B

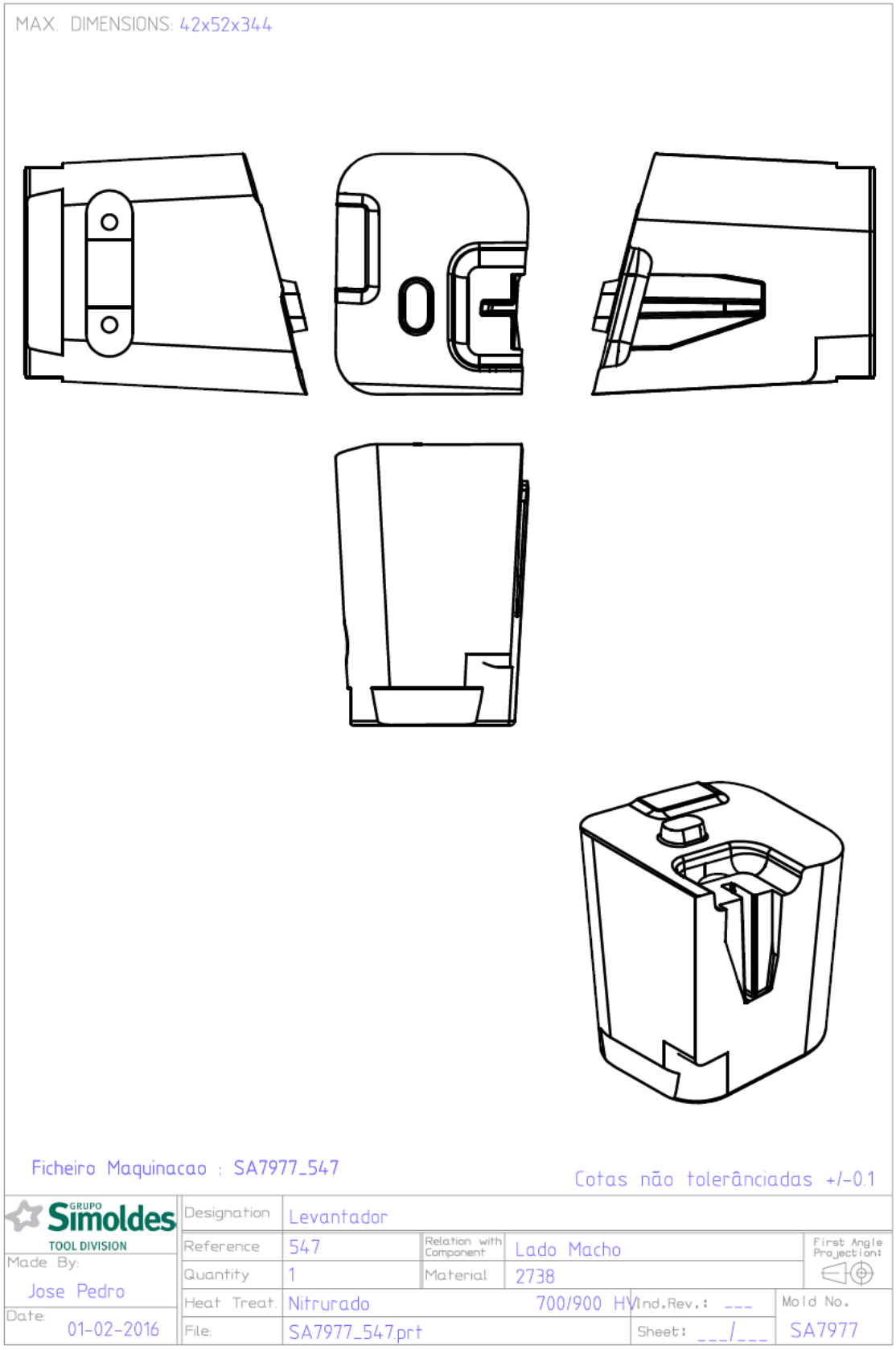
Cotas não tolerânciadas +/-0.1

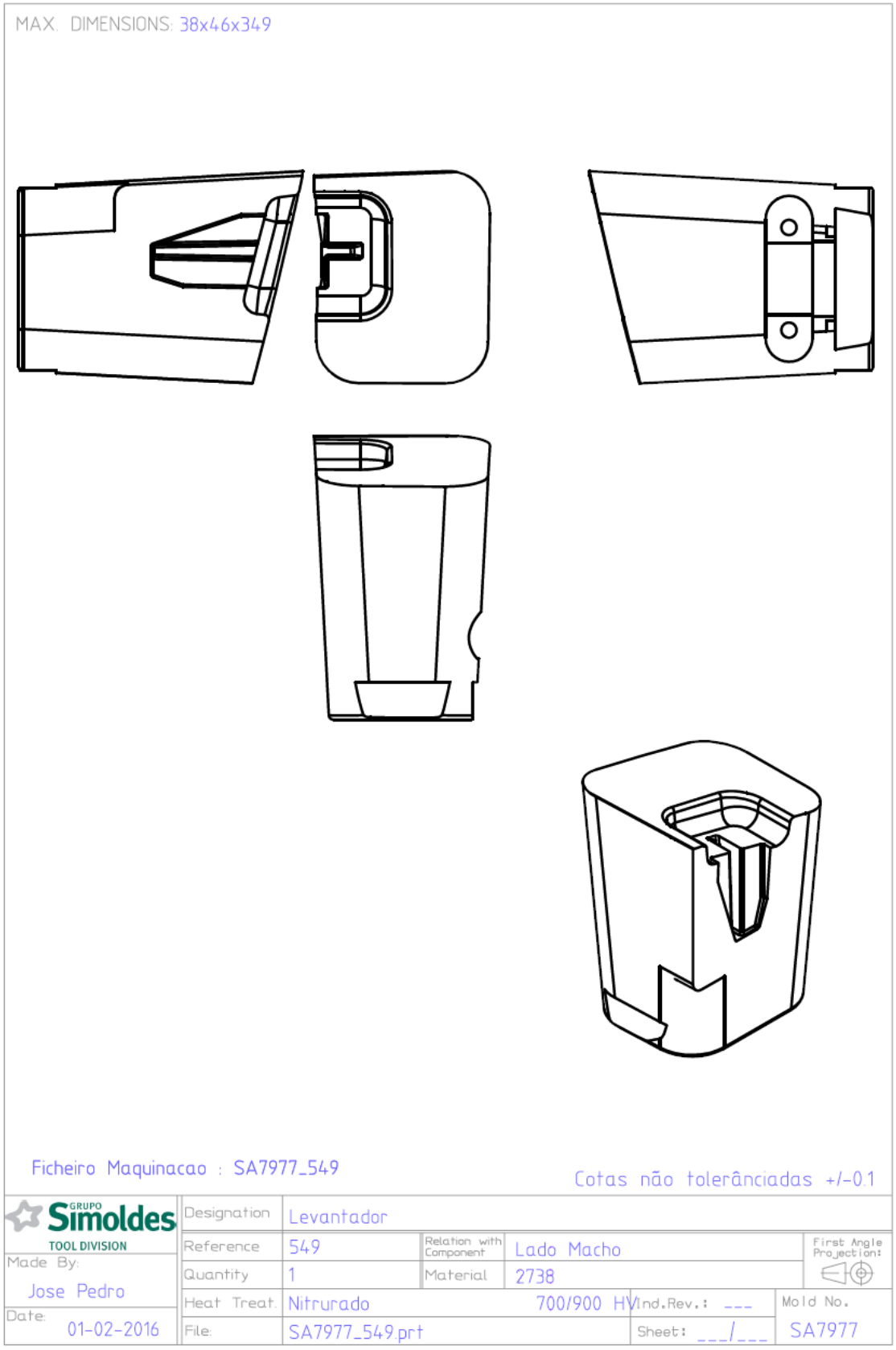
GRUPO Simoldes TOOL DIVISION	Designation	Postiço do Levantador			
Made By: Joao Xara	Reference	540B	Relation with Component	XXXX	First Angle Projection:
	Quantity	1	Material		
Date: 12-02-2016	Heat Treat.		Ind.Rev.: ___		Mold No.
	File:	SA7975_540B.prt	Sheet: ___/___		SA7975

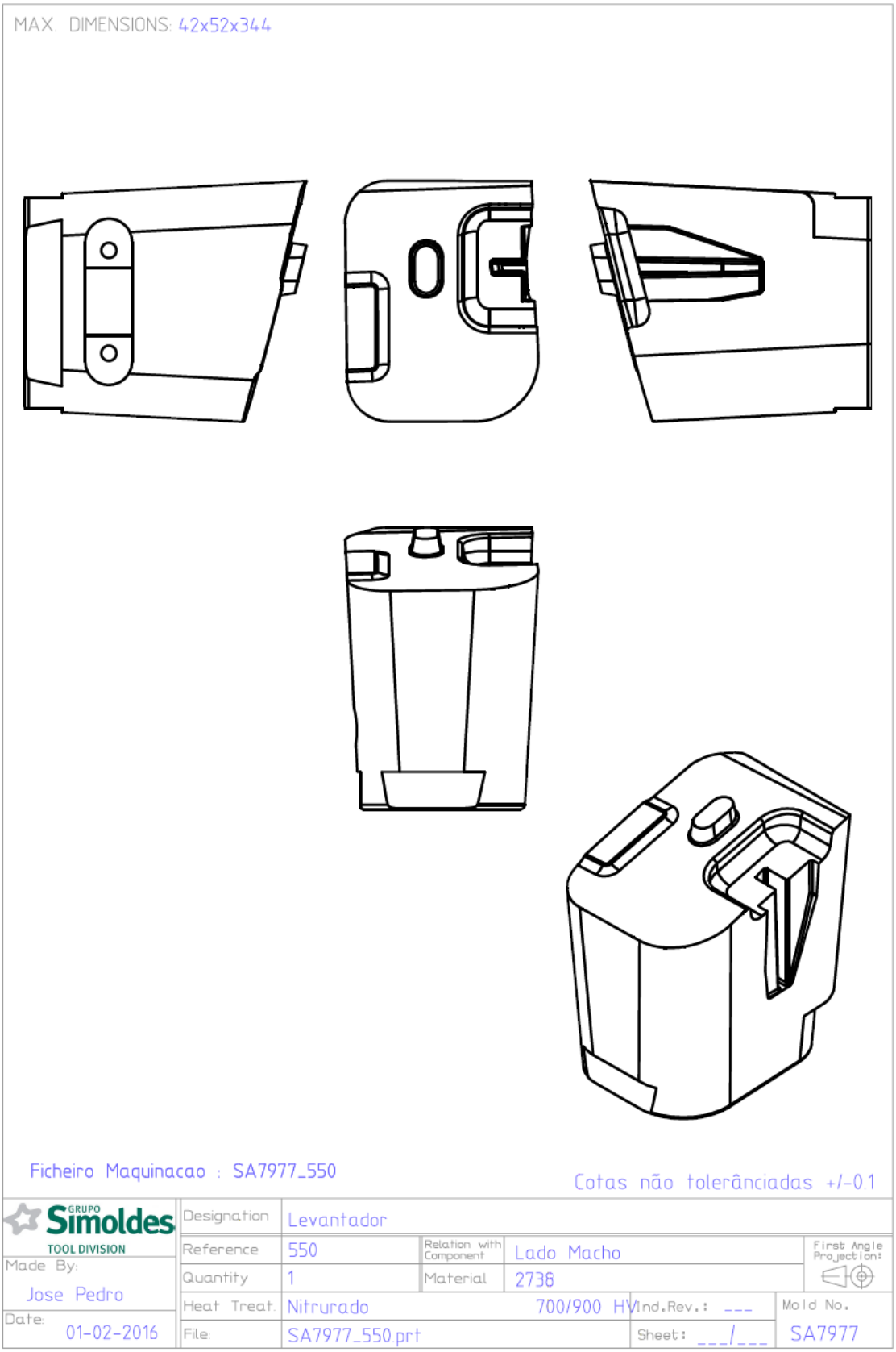

MAX. DIMENSIONS: 28x41x44
Ficheiro Maquinacao : SA7975_541A
Cotas não tolerânciadas +/-0.1
GRUPO Simoldes
TOOL DIVISION
Made By:
Joao Xara
Date:
12-02-2016
Designation
Postiço do Levantador
Reference
541A
Relation with Component
XXXX
First Angle Projection:
Quantity
1
Material
Heat Treat.
Ind.Rev.: ___
Mold No.
File:
SA7975_541A.prt
Sheet: ___/___
SA7975


MAX. DIMENSIONS: 33x41x44
Ficheiro Maquinacao : SA7975_541B
Cotas não tolerânciadas +/-0.1
GRUPO Simoldes
TOOL DIVISION
Made By:
Joao Xara
Date:
12-02-2016
Designation
Postiço do Levantador
Reference
541B
Relation with Component
XXXX
First Angle Projection:
Quantity
1
Material
Heat Treat.
Ind.Rev.: ___
Mold No.
File:
SA7975_541B.prt
Sheet: ___/___
SA7975

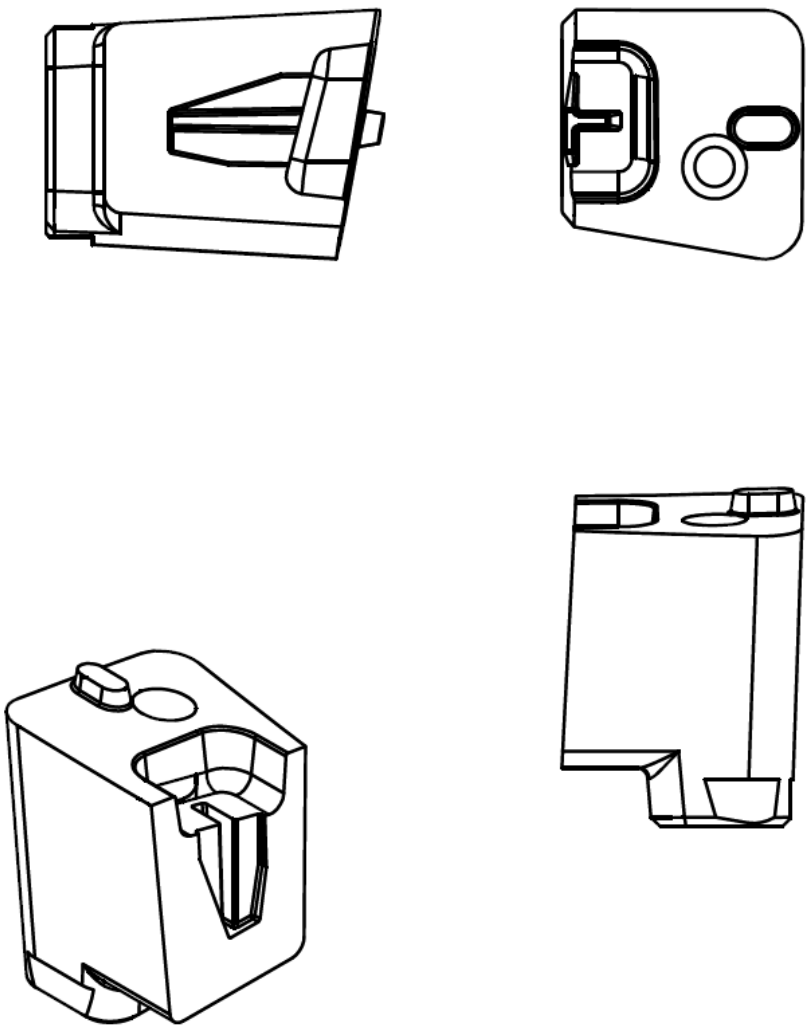

MAX. DIMENSIONS: 38x46x349
Ficheiro Maquinacao : SA7977_546
Cotas não tolerânciadas +/-0.1
GRUPO Simoldes
TOOL DIVISION
Made By:
Jose Pedro
Date:
01-02-2016
Designation
Levantador
Reference
546
Relation with Component
Lado Macho
Quantity
1
Material
2738
First Angle Projection:
Heat Treat.
Nitrurado
700/900 HV
Ind.Rev.: ___
Mold No.
File:
SA7977_546.prt
Sheet: ___/___
SA7977


MAX. DIMENSIONS: 42x52x344
Ficheiro Maquinacao : SA7977_547
Cotas não tolerânciadas +/-0.1
GRUPO Simoldes
TOOL DIVISION
Made By:
Jose Pedro
Date:
01-02-2016
Designation
Levantador
Reference
547
Relation with Component
Lado Macho
Quantity
1
Material
2738
First Angle Projection:
Heat Treat.
Nitrurado
700/900 HV
Ind.Rev.: ___
Mold No.
File:
SA7977_547.prt
Sheet: ___/___
SA7977


MAX. DIMENSIONS: 38x46x349
Ficheiro Maquinacao : SA7977_549
Cotas não tolerânciadas +/-0.1
GRUPO Simoldes
TOOL DIVISION
Made By:
Jose Pedro
Date:
01-02-2016
Designation
Levantador
Reference
549
Relation with Component
Lado Macho
Quantity
1
Material
2738
First Angle Projection:
Heat Treat.
Nitrurado
700/900 HV
Ind.Rev.: ___
Mold No.
File:
SA7977_549.prt
Sheet: ___/___
SA7977


MAX. DIMENSIONS: 42x52x344
Ficheiro Maquinacao : SA7977_550
Cotas não tolerânciadas +/-0.1
GRUPO Simoldes
TOOL DIVISION
Made By:
Jose Pedro
Date:
01-02-2016
Designation
Levantador
Reference
550
Relation with Component
Lado Macho
First Angle Projection:
Quantity
1
Material
2738
Heat Treat.
Nitrurado
700/900 HV
Ind.Rev.: ___
Mold No.
File:
SA7977_550.prt
Sheet: ___/___
SA7977

MAX. DIMENSIONS: 42x43x59

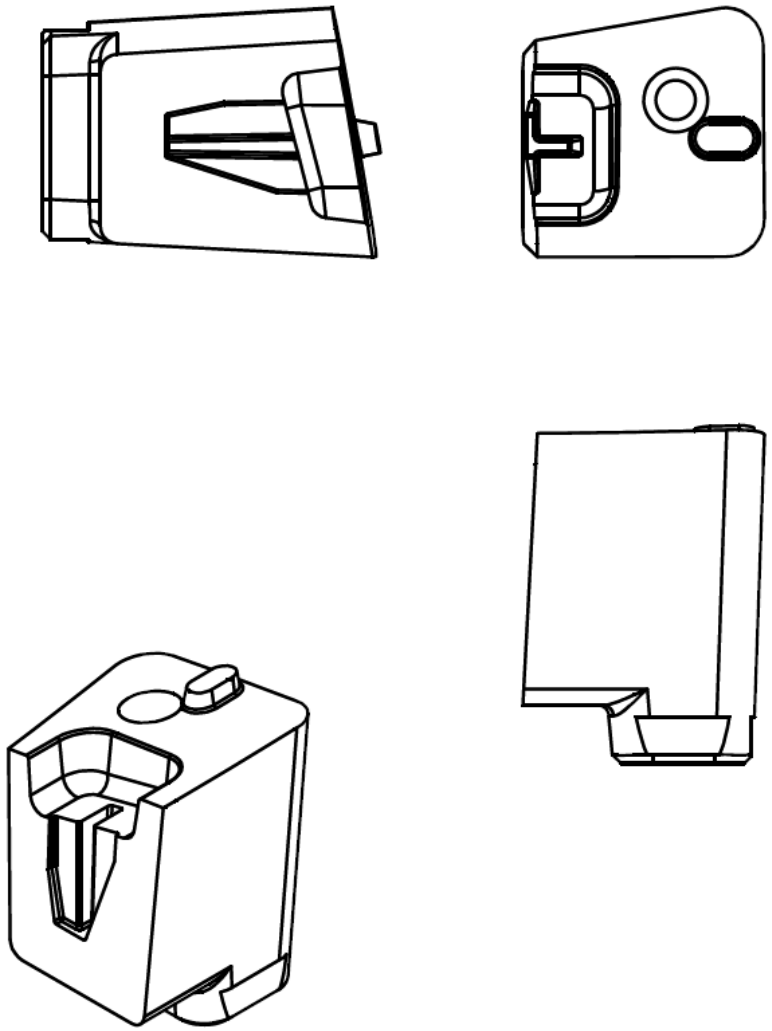


Ficheiro Maquinacao : SA7979_200A_A1

Cotas não tolerânciadas +/-0.1

GRUPO Simoldes TOOL DIVISION	Designation	Postiço do Macho			
Made By: Mario Coelho	Reference	200A	Relation with Component	XXXX	First Angle Projection:
	Quantity	1	Material	2311	
Date: 01-03-2016	Heat Treat.	PreTratado 275/325 HB	Ind.Rev.: ---		Mold No.
	File:	SA7979_200A.prt	Sheet: ___/___		SA7979

MAX. DIMENSIONS: 42x43x59

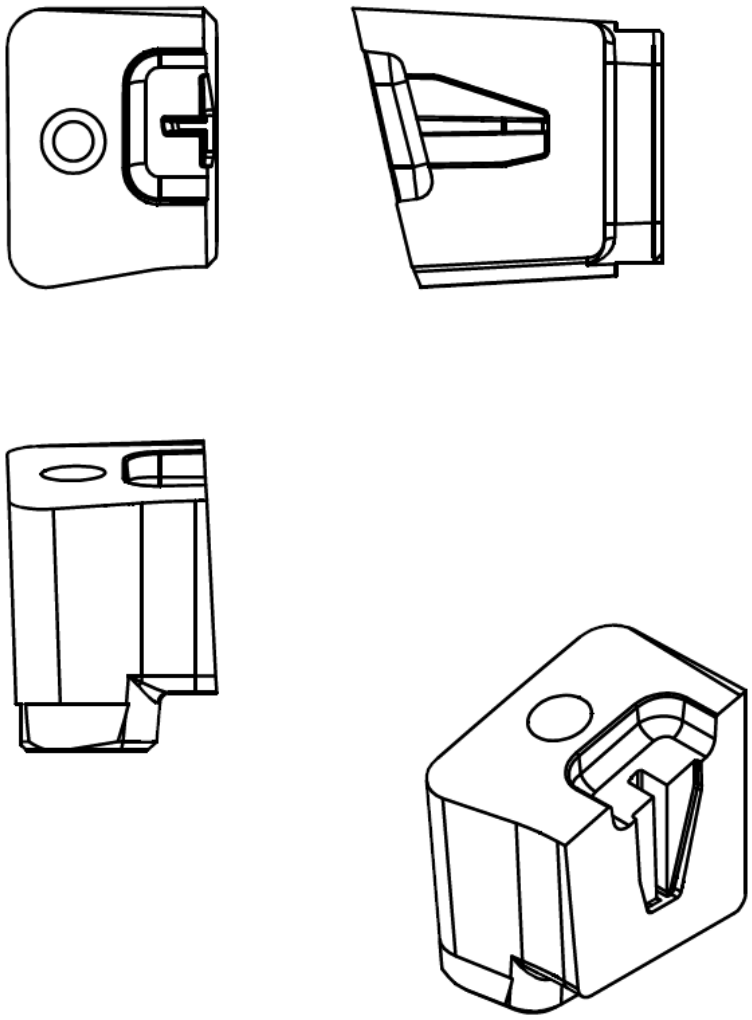


Ficheiro Maquinacao : SA7979_200B_A1

Cotas não tolerânciadas +/-0.1

GRUPO Simoldes TOOL DIVISION	Designation	Postiço do Macho			
	Reference	200B	Relation with Component	XXXX	First Angle Projection:
Made By: Mario Coelho	Quantity	1	Material	2311	
	Heat Treat.	PreTratado 275/325 HB	Ind.Rev.: ---		Mold No.
Date: 01-03-2016	File:	SA7979_200B.prt	Sheet: ___/___		SA7979

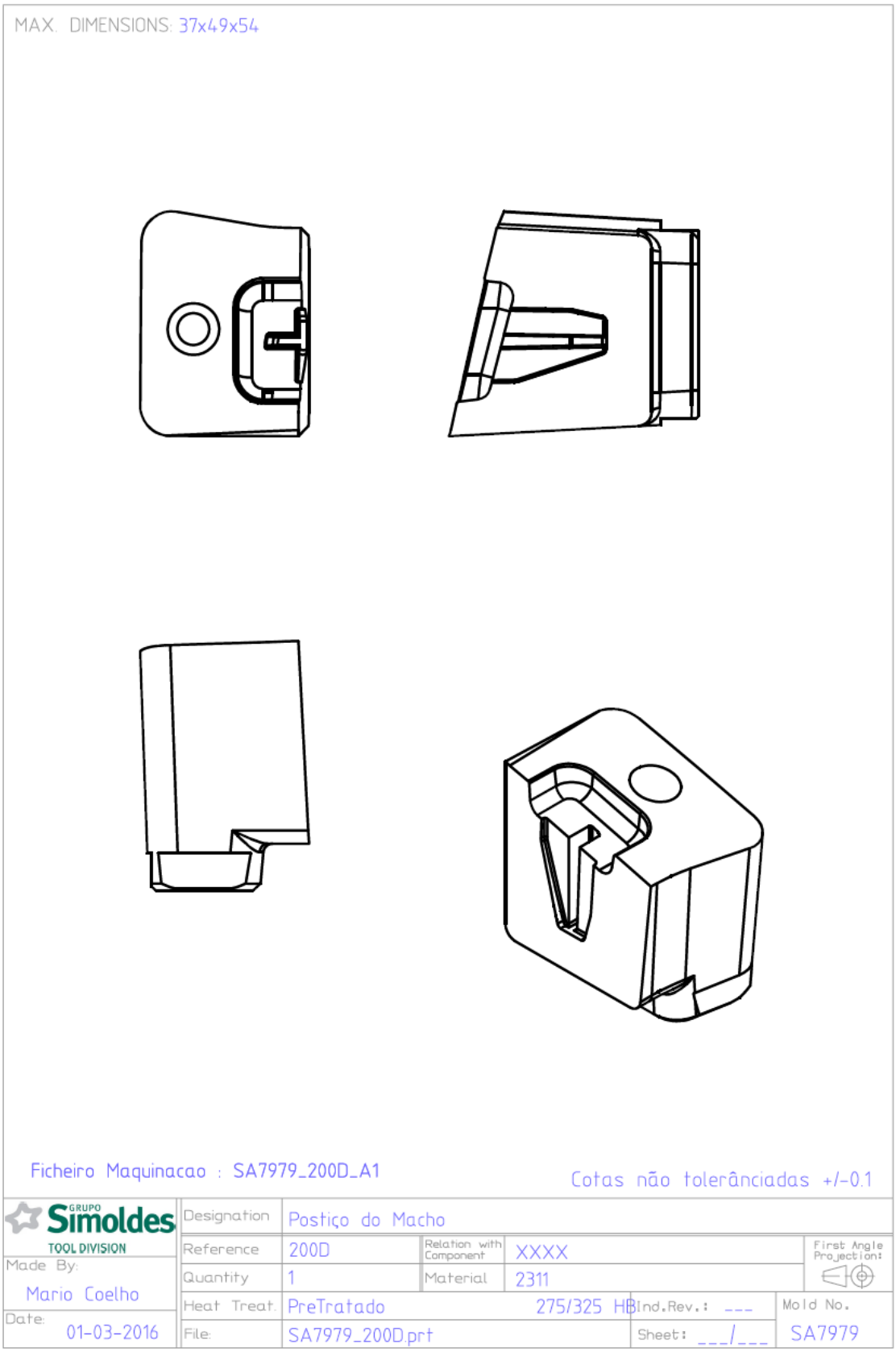
MAX. DIMENSIONS: 37x49x54



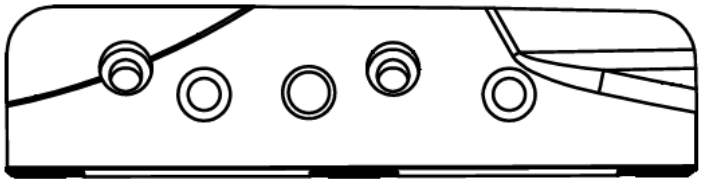
Ficheiro Maquinacao : SA7979_200C_A1

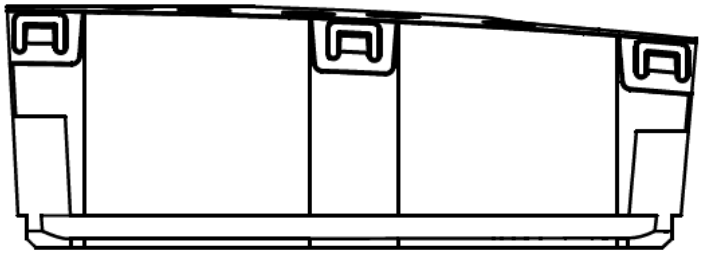
Cotas não tolerânciadas +/-0.1

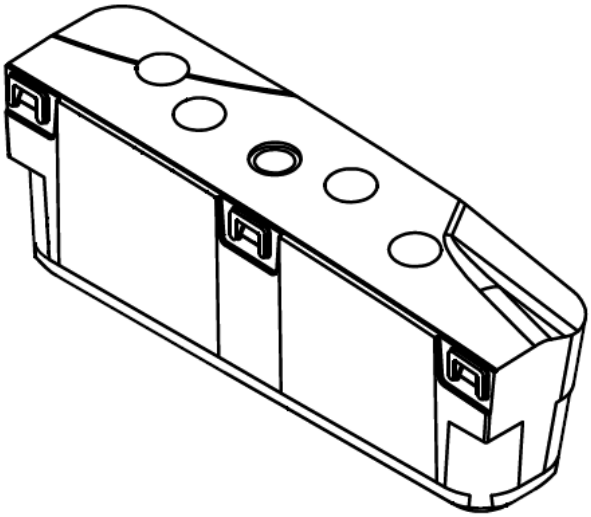
GRUPO Simoldes TOOL DIVISION	Designation	Postiço do Macho			
Made By: Mario Coelho	Reference	200C	Relation with Component	XXXX	First Angle Projection:
	Quantity	1	Material	2311	
Date: 01-03-2016	Heat Treat.	PreTratado 275/325 HB	Ind.Rev.: ---		Mold No.
	File:	SA7979_200C.prt	Sheet: ___/___		SA7979


MAX. DIMENSIONS: 37x49x54
Ficheiro Maquinacao : SA7979_200D_A1
Cotas não tolerânciadas +/-0.1
GRUPO Simoldes
TOOL DIVISION
Made By:
Mario Coelho
Date:
01-03-2016
Designation
Postiço do Macho
Reference
200D
Relation with Component
XXXX
Quantity
1
Material
2311
First Angle Projection:
Heat Treat.
PreTratado
275/325 HB
Ind.Rev.: ___
Mold No.
File:
SA7979_200D.prt
Sheet: ___/___
SA7979

MAX. DIMENSIONS: 238x59x83





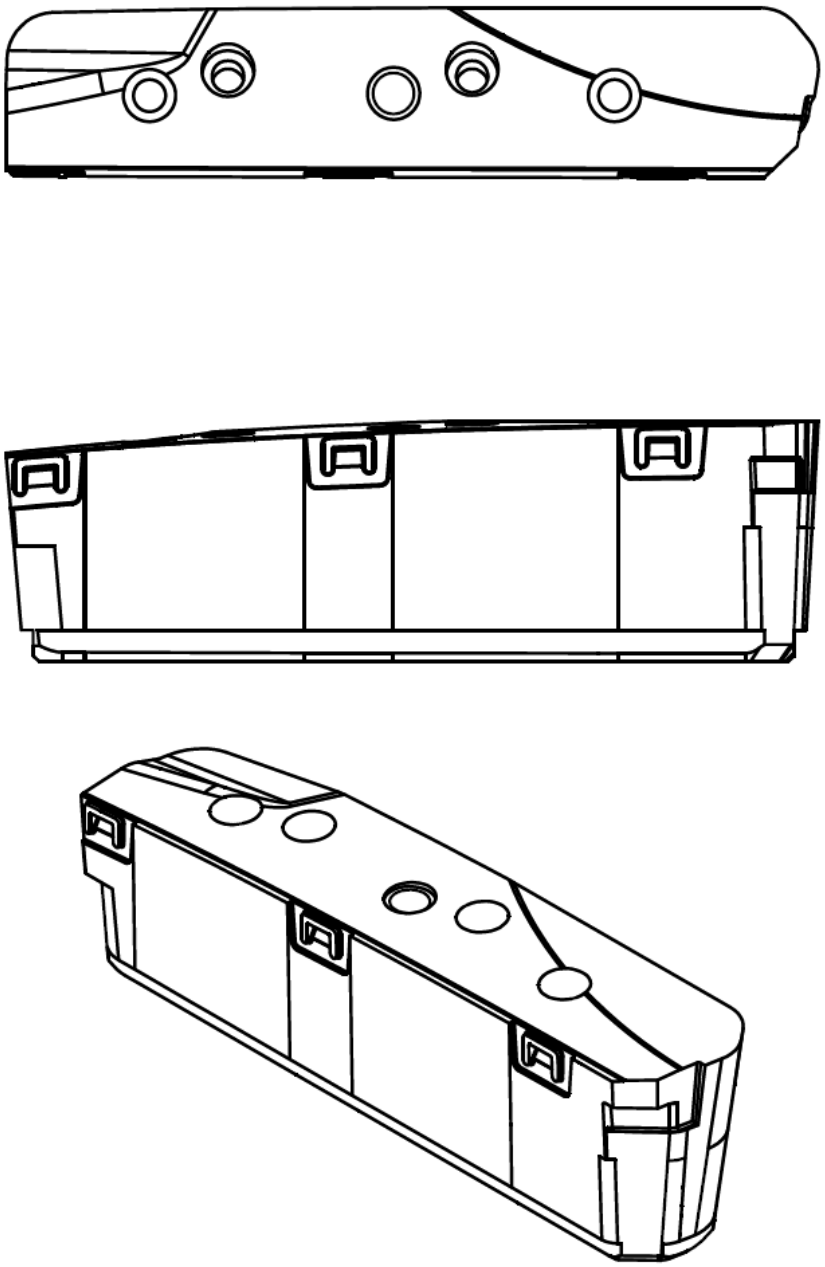


Ficheiro Maquinacao : SA7954_0508_3D

Cotas não tolerânciadas +/-0.1

GRUPO Simoldes TOOL DIVISION	Designation	Movimento à Extração			
Made By: Victor	Reference	0508	Relation with Component	XXXX	First Angle Projection:
	Quantity	1	Material	2738	
Date: 24-03-2016	Heat Treat.	Nitrurado 700/900 HV	Ind.Rev.: ---	Mold No.	
	File:	SA7954_508.prt	Sheet: 1 / 1	SA7954	

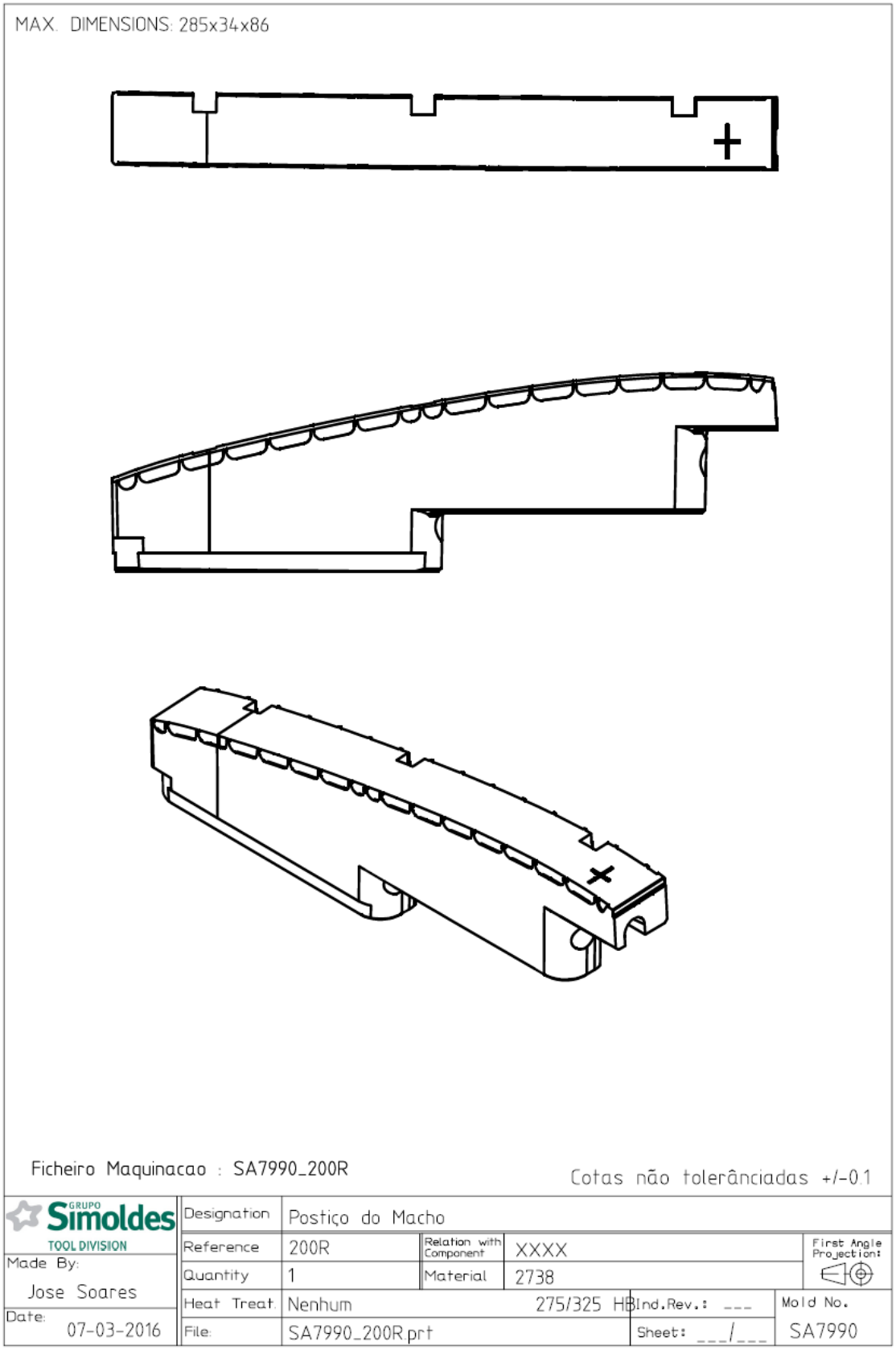
MAX. DIMENSIONS: 280x59x83

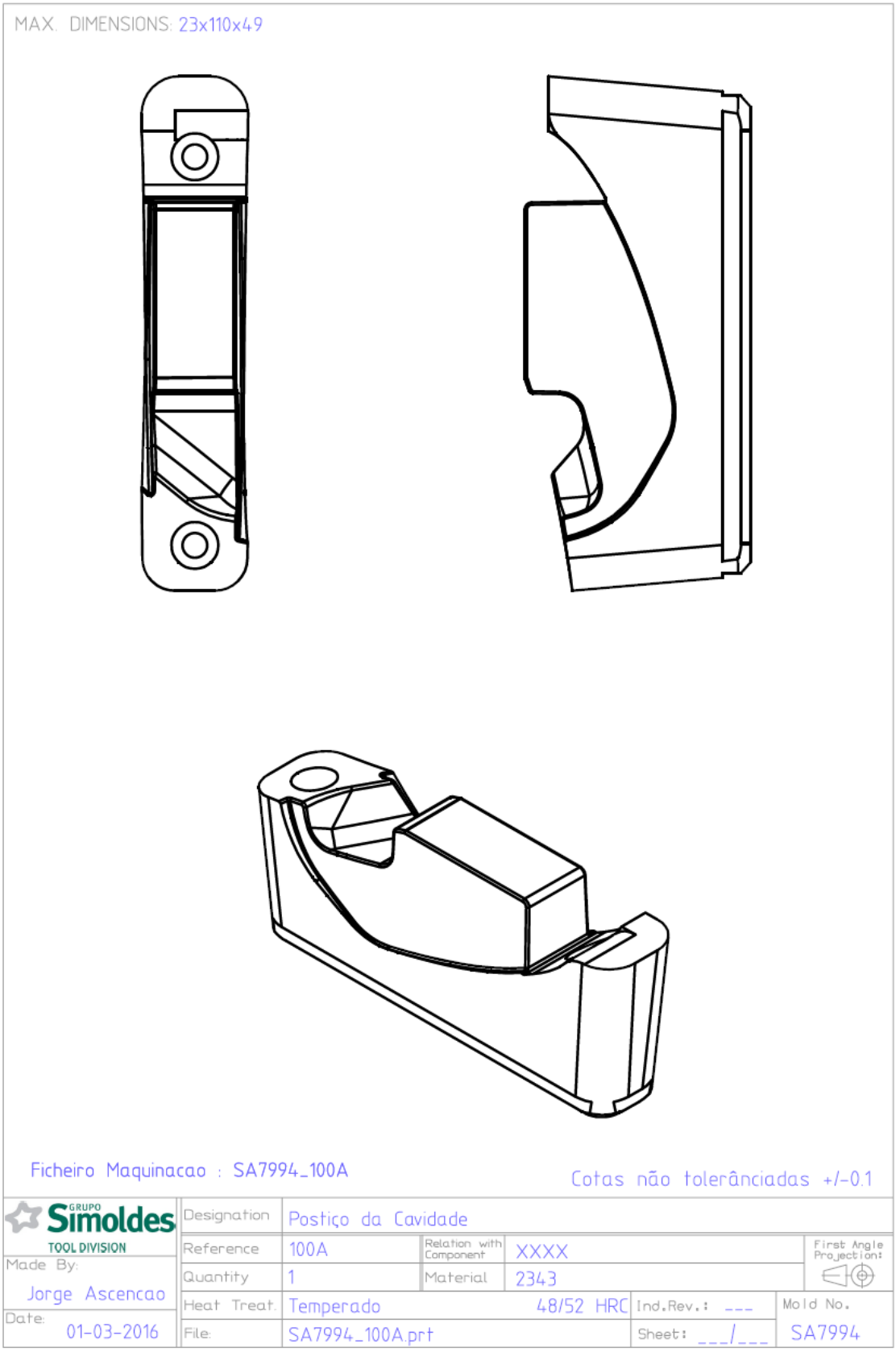


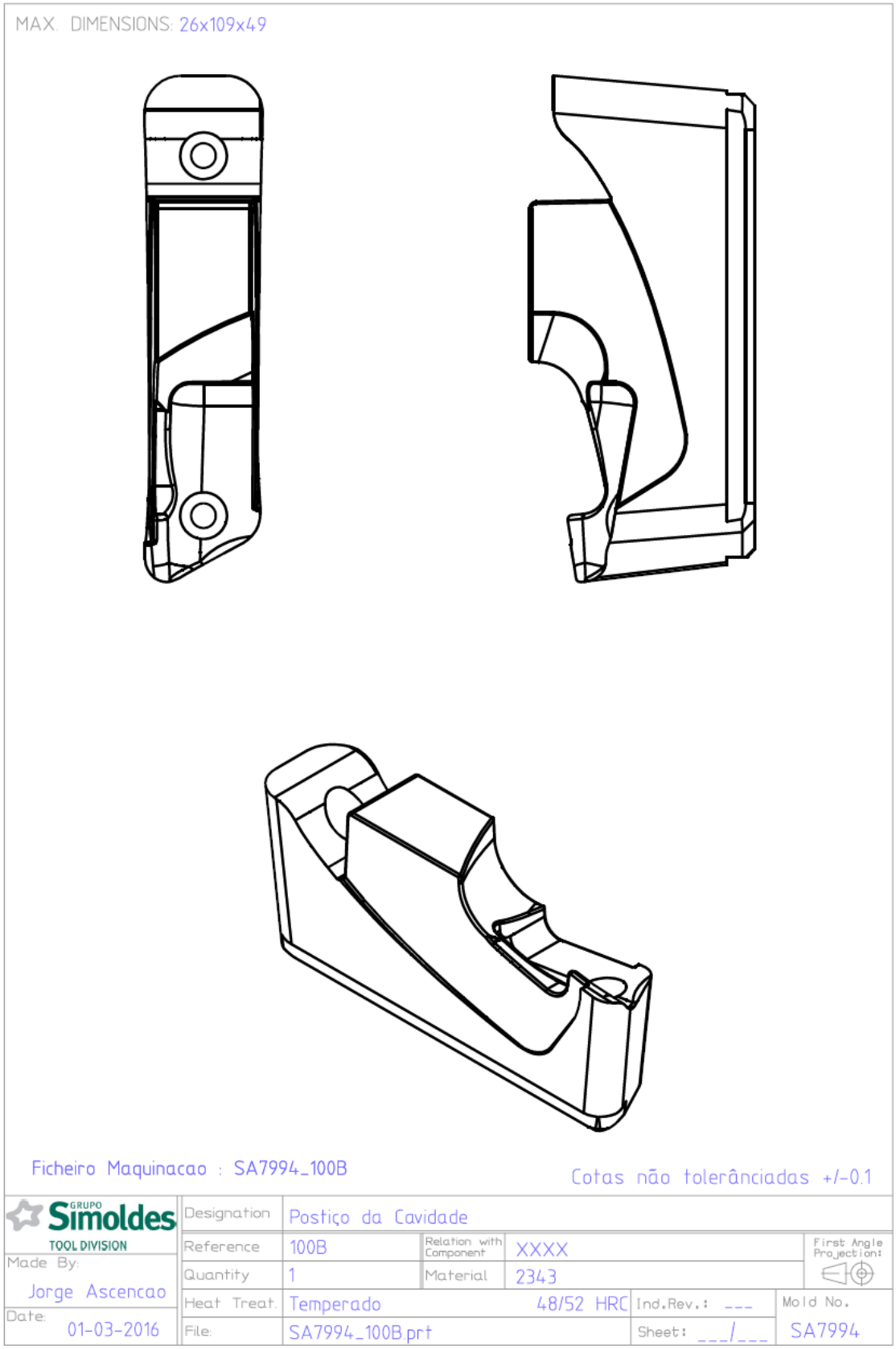
Ficheiro Maquinacao : SA7954_0509_3D

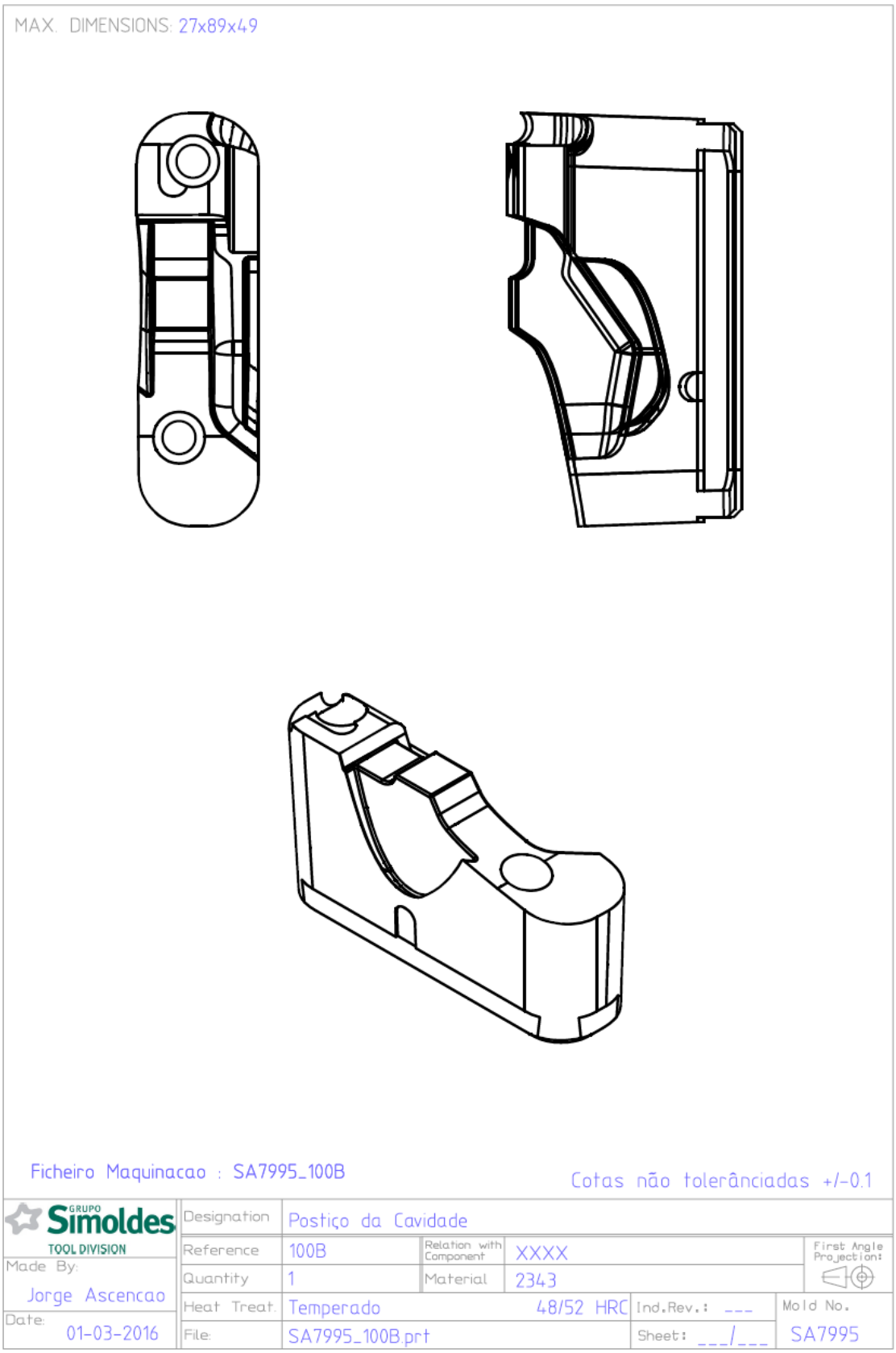
Cotas não tolerânciadas +/-0.1

GRUPO Simoldes TOOL DIVISION	Designation	Movimento à Extração			
Made By: Victor	Reference	0509	Relation with Component	XXXX	First Angle Projection:
	Quantity	1	Material	2738	
Date: 24-03-2016	Heat Treat.	Nitrurado	700/900 HV	Ind.Rev.: ---	Mold No.
	File:	SA7954_509.prt		Sheet: 1 / 1	SA7954

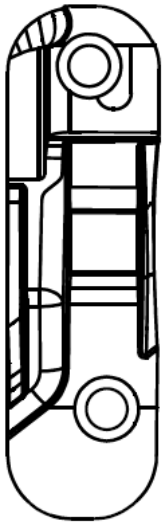

MAX. DIMENSIONS: 285x34x86
Ficheiro Maquinacao : SA7990_200R
Cotas não tolerânciadas +/-0.1
GRUPO Simoldes
TOOL DIVISION
Made By:
Jose Soares
Date:
07-03-2016
Designation
Postiço do Macho
Reference
200R
Relation with Component
XXXX
First Angle Projection:
Quantity
1
Material
2738
Heat Treat.
Nenhum
275/325 HB
Ind.Rev.: ___
Mold No.
File:
SA7990_200R.prt
Sheet: ___/___
SA7990

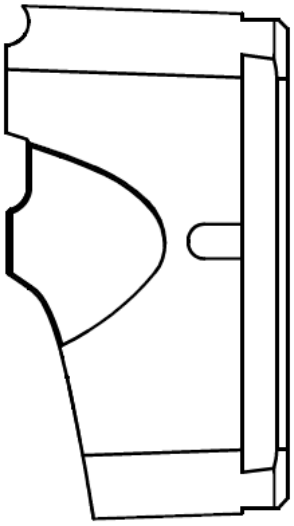

MAX. DIMENSIONS: 23x110x49
Ficheiro Maquinacao : SA7994_100A
Cotas não tolerânciadas +/-0.1
GRUPO Simoldes
TOOL DIVISION
Made By:
Jorge Ascencao
Date:
01-03-2016
Designation
Postiço da Cavidade
Reference
100A
Relation with Component
XXXX
First Angle Projection:
Quantity
1
Material
2343
Heat Treat.
Temperado
48/52 HRC
Ind.Rev.: ___
Mold No.
File:
SA7994_100A.prt
Sheet: ___/___
SA7994

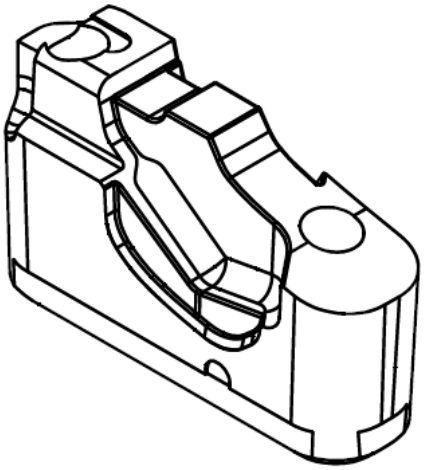

MAX. DIMENSIONS: 26x109x49
Ficheiro Maquinacao : SA7994_100B
Cotas não tolerânciadas +/-0.1
GRUPO Simoldes
TOOL DIVISION
Made By:
Jorge Ascencao
Date:
01-03-2016
Designation
Postiço da Cavidade
Reference
100B
Relation with Component
XXXX
First Angle Projection:
Quantity
1
Material
2343
Heat Treat.
Temperado
48/52 HRC
Ind.Rev.: ___
Mold No.
File:
SA7994_100B.prt
Sheet: ___/___
SA7994


MAX. DIMENSIONS: 27x89x49
Ficheiro Maquinacao : SA7995_100B
Cotas não tolerânciadas +/-0.1
GRUPO Simoldes
TOOL DIVISION
Made By:
Jorge Ascencao
Date:
01-03-2016
Designation
Postiço da Cavidade
Reference
100B
Relation with Component
XXXX
Quantity
1
Material
2343
First Angle Projection:
Heat Treat.
Temperado
48/52 HRC
Ind.Rev.: ___
Mold No.
File:
SA7995_100B.prt
Sheet: ___/___
SA7995

MAX. DIMENSIONS: 27x89x49



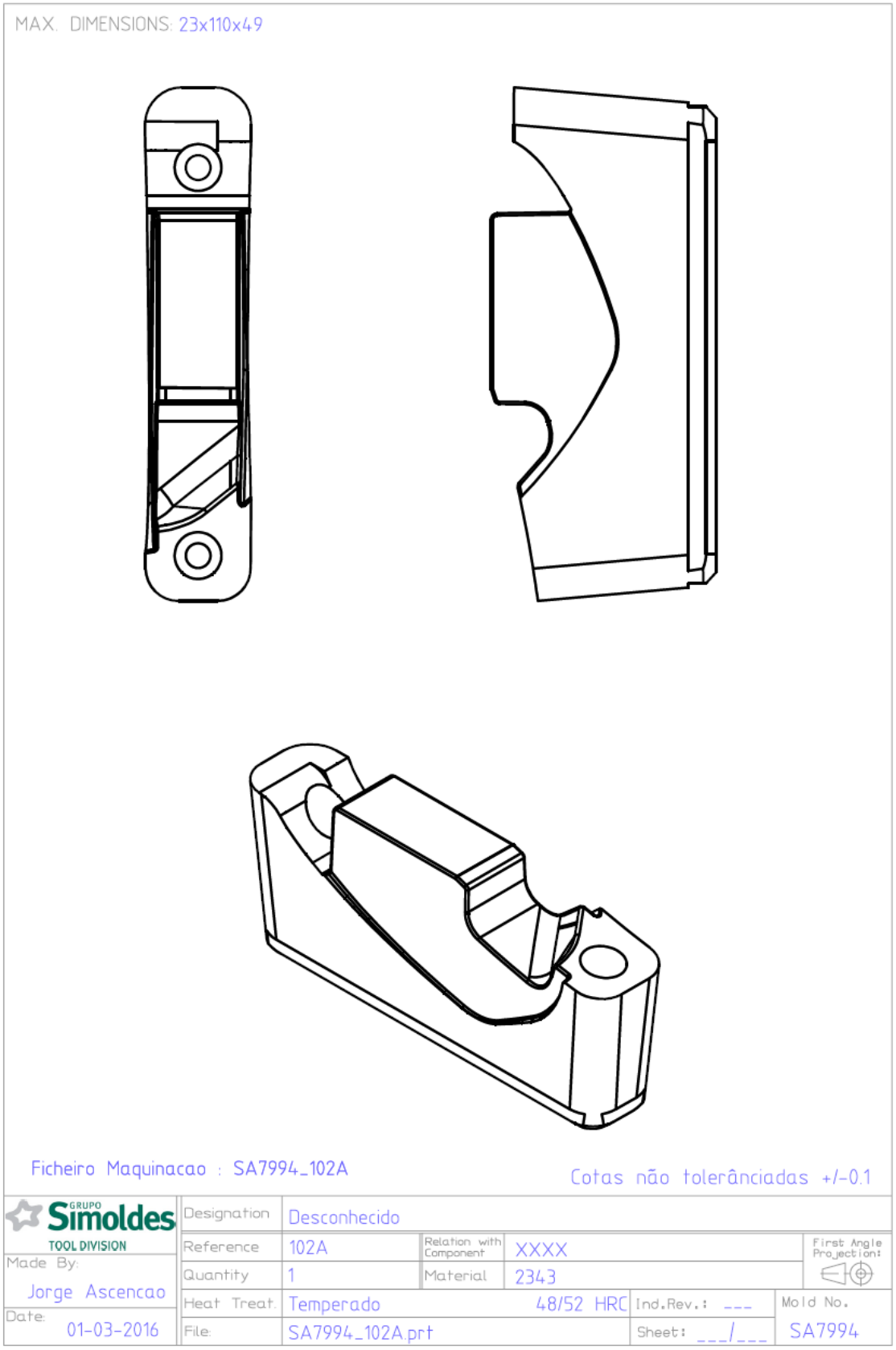


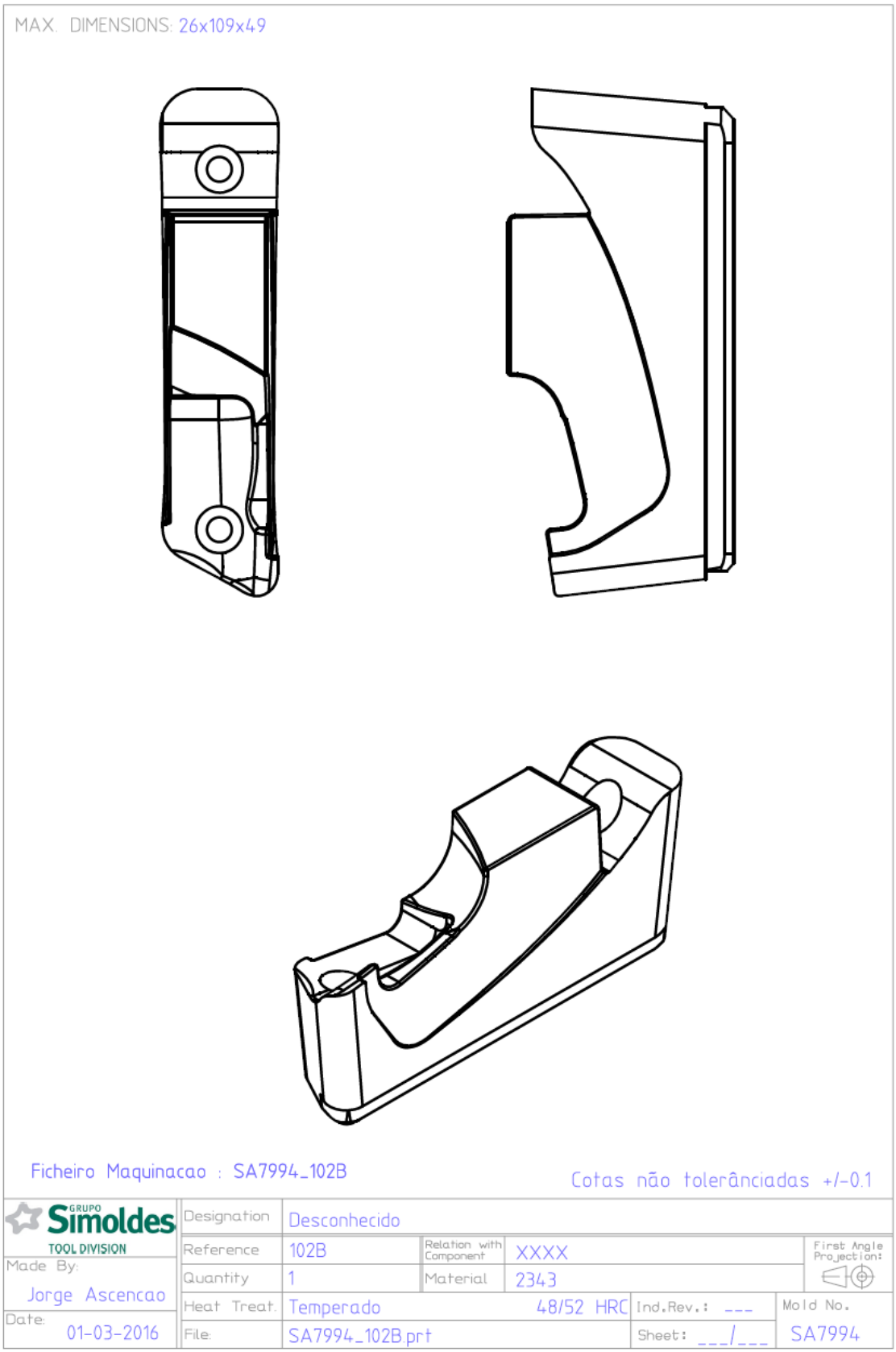


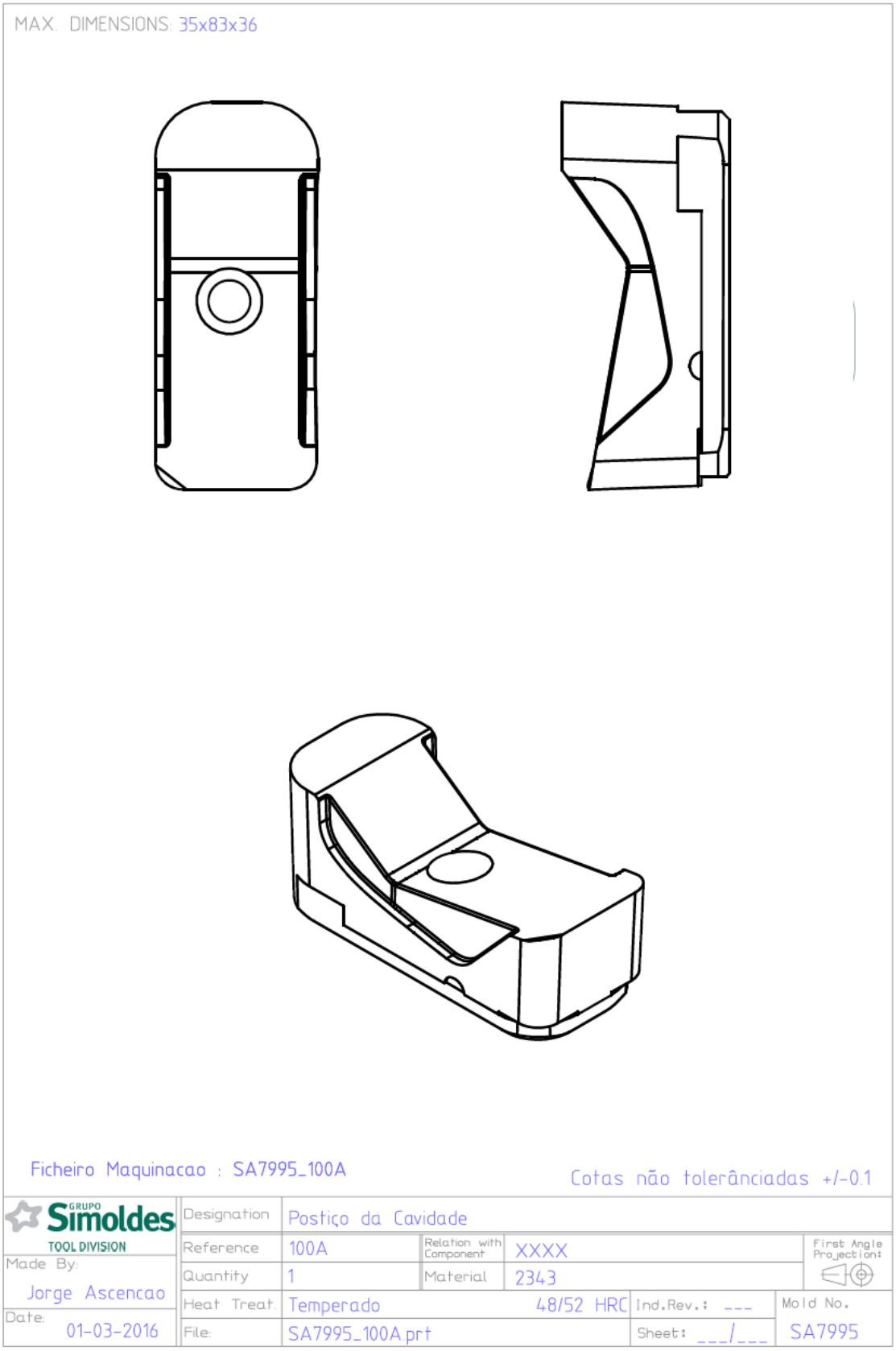
Ficheiro Maquinacao : SA7995_102B

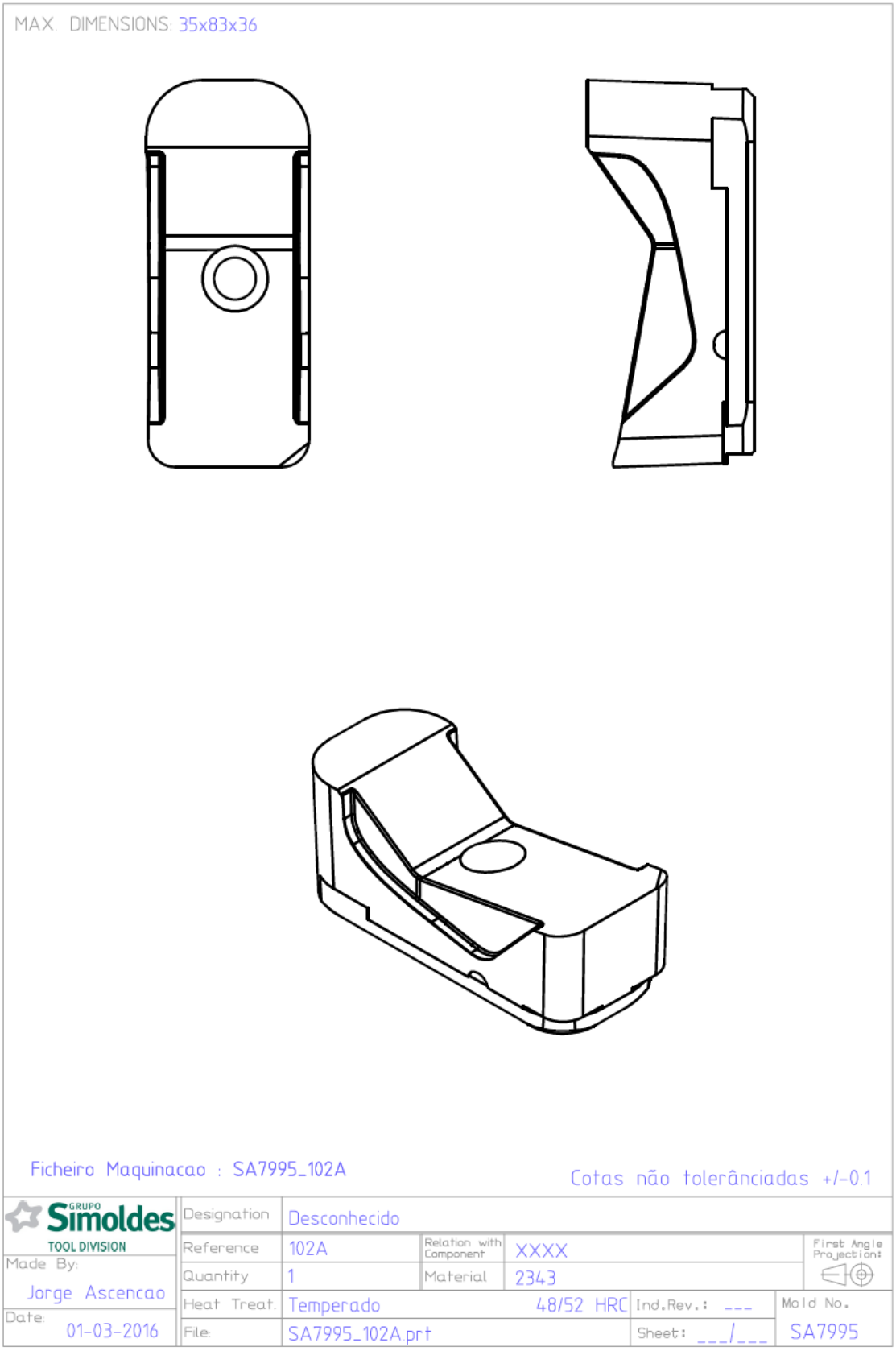
Cotas não tolerânciadas +/-0.1

GRUPO Simoldes TOOL DIVISION	Designation	Desconhecido			
Made By: Jorge Ascencao	Reference	102B	Relation with Component	XXXX	First Angle Projection:
	Quantity	1	Material	2343	
Date: 01-03-2016	Heat Treat.	Temperado 48/52 HRC	Ind.Rev.: ___		Mold No.
	File:	SA7995_102B.prt	Sheet: ___/___		SA7995


MAX. DIMENSIONS: 23x110x49
Ficheiro Maquinacao : SA7994_102A
Cotas não tolerânciadas +/-0.1
GRUPO Simoldes
TOOL DIVISION
Made By:
Jorge Ascencao
Date:
01-03-2016
Designation
Desconhecido
Reference
102A
Relation with Component
XXXX
Quantity
1
Material
2343
First Angle Projection:
Heat Treat.
Temperado
48/52 HRC
Ind.Rev.: ___
Mold No.
File:
SA7994_102A.prt
Sheet: ___/___
SA7994


MAX. DIMENSIONS: 26x109x49
Ficheiro Maquinacao : SA7994_102B
Cotas não tolerânciadas +/-0.1
GRUPO Simoldes
TOOL DIVISION
Made By:
Jorge Ascencao
Date:
01-03-2016
Designation
Desconhecido
Reference
102B
Relation with Component
XXXX
Quantity
1
Material
2343
First Angle Projection:
Heat Treat.
Temperado
48/52 HRC
Ind.Rev.: ___
Mold No.
File:
SA7994_102B.prt
Sheet: ___/___
SA7994


MAX. DIMENSIONS: 35x83x36
Ficheiro Maquinacao : SA7995_100A
Cotas não tolerânciadas +/-0.1
GRUPO Simoldes
TOOL DIVISION
Made By:
Jorge Ascencao
Date:
01-03-2016
Designation
Postiço da Cavidade
Reference
100A
Relation with Component
XXXX
Quantity
1
Material
2343
First Angle Projection:
Heat Treat.
Temperado
48/52 HRC
Ind.Rev.: ___
Mold No.
File:
SA7995_100A.prt
Sheet: ___/___
SA7995

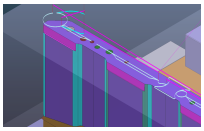
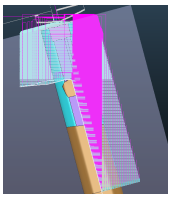
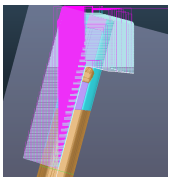
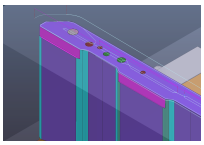

MAX. DIMENSIONS: 35x83x36
Ficheiro Maquinacao : SA7995_102A
Cotas não tolerânciadas +/-0.1
GRUPO Simoldes
TOOL DIVISION
Made By:
Jorge Ascencao
Date:
01-03-2016
Designation
Desconhecido
Reference
102A
Relation with Component
XXXX
Quantity
1
Material
2343
First Angle Projection:
Heat Treat.
Temperado
48/52 HRC
Ind.Rev.: ___
Mold No.
File:
SA7995_102A.prt
Sheet: ___/___
SA7995

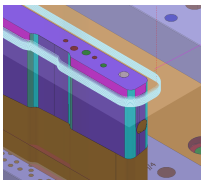
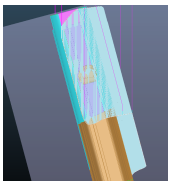
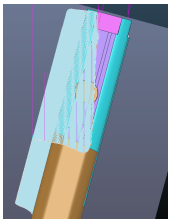
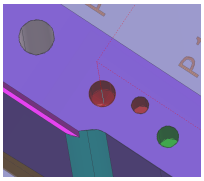
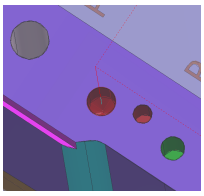
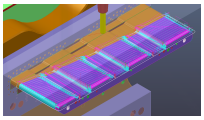
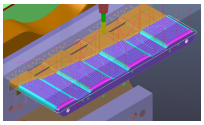
Anexo D: Processo de maquinagem dos postiços em estudo

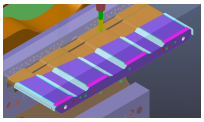
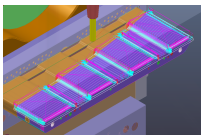
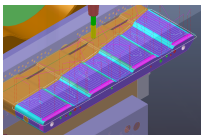
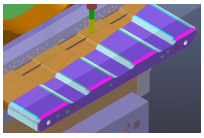
D.1 Palete SA 14_15

D.1.1 Palete 14_15 Primeiro aperto - 5 eixos posicionais

Tabela D.1: Quadro resumo do processo de maquinagem do postiço SA7968_100B e SA7968_100E - Primeiro aperto.

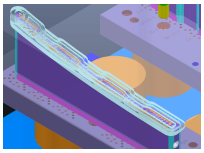
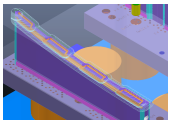
Ordem	Operação	Imagem	Ferramenta	Parâmetros de corte
1	Desbaste de planos (Desbaste de camada)		T1_25x2 _HITACHI- Fresa de pastilhas	$S = 2000$ rpm $F = 5000$ mm/min $A_p = 0.15$ mm/passagem $A_e = 14.7$ mm Sobremetal(XY): 0.15 mm Sobremetal(Z): 0.15 mm Plano de trabalho: DMU60
2	Pré Contorno 1 (Acabamento Z Constante)		T1_25x2 _HITACHI- Fresa de pastilhas	$S = 2000$ rpm $F = 5000$ mm/min $A_p = 0.3$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0.15 mm Sobremetal(Z): 0.15 mm Plano de trabalho: Y15
3	Pré Contorno 2 (Acabamento Z Constante)		T1_25x2 _HITACHI- Fresa de pastilhas	$S = 2000$ rpm $F = 5000$ mm/min $A_p = 0.3$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0.15 mm Sobremetal(Z): 0.15 mm Plano de trabalho: Y-15
4	Acabamento de mestras (Desbaste de camada)		T6_20X2_L100 _ACAB- Fresa de pastilhas	$S = 2000$ rpm $F = 600$ mm/min $A_p = 0.1$ mm/passagem $A_e = 9.0$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: DMU60

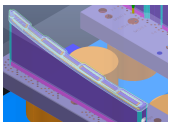
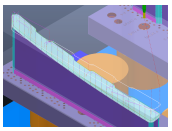
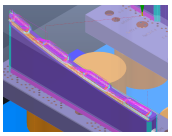
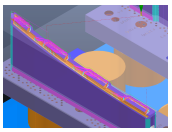
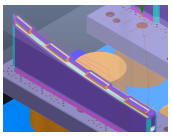
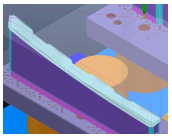
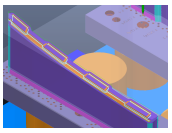
Ordem	Operação	Imagem	Ferramenta	Parâmetros de corte
5	Acabamento Planos (Acabamento Z Constante)		T6_20X2_L100 _ACAB- Fresa de pastilhas	$S = 2000$ rpm $F = 600$ mm/min $A_p = 0.1$ mm/passagem $A_e = 9.0$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: DMU60
6	Acabamento Contorno 1 (Acabamento Raster)		T6_20X2_L100 _ACAB- Fresa de pastilhas	$S = 4500$ rpm $F = 2700$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = 0.2$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: Y15
7	Acabamento Contorno 2 (Acabamento Raster)		T6_20X2_L100 _ACAB- Fresa de pastilhas	$S = 4500$ rpm $F = 2700$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = 0.2$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: Y-15
8	Furação ϕ 6 mm (Furação picote simples)		T51_BROCA_D6 _L54 - Broca	$S = 3700$ rpm $F = 550$ mm/min Profundidade= $--$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: DMU60
9	Escarear furo ϕ 6 mm (Furação picote simples)		T58_ESCAR_D20 _L75 - Escareador	$S = 2000$ rpm $F = 500$ mm/min Profundidade= 3.2 mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: DMU60
10	Redesbaste lateral (Desbaste resíduo do modelo)		T13_10x1_L47- Fresa de navalhas	$S = 8000$ rpm $F = 3000$ mm/min $A_p = 0.2$ mm/passagem $A_e = 4.8$ mm Sobremetal(XY): 0.15 mm Sobremetal(Z): 0.15 mm Plano de trabalho: Y90
11	Acabamento lateral (Desbaste de camada)		T15_8x1_L45- Fresa de navalhas	$S = 10000$ rpm $F = 1200$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = 3.2$ mm Sobremetal(XY): 0.12 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: Y90

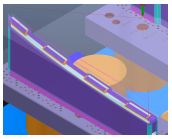
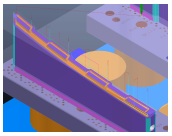
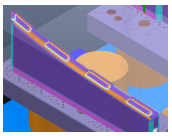
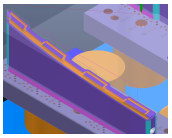
Ordem	Operação	Imagem	Ferramenta	Parâmetros de corte
12	Acabamento raios lateral (Acabamento raster)		T15_8x1_L45- Fresa de navalhas	$S = 10000$ rpm $F = 3000$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = 0.22$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: Y90
13	Redesbaste lateral (Desbaste resíduo do modelo)		T13_10x1_L47- Fresa de navalhas	$S = 8000$ rpm $F = 3000$ mm/min $A_p = 0.2$ mm/passagem $A_e = 4.8$ mm Sobremetal(XY): 0.15 mm Sobremetal(Z): 0.15 mm Plano de trabalho: Y-90
14	Acabamento lateral (Desbaste de camada)		T15_8x1_L45- Fresa de navalhas	$S = 10000$ rpm $F = 1200$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = 3.2$ mm Sobremetal(XY): 0.12 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: Y90
15	Acabamento raios lateral (Acabamento raster)		T15_8x1_L45- Fresa de navalhas	$S = 10000$ rpm $F = 3000$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = 0.22$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: Y90

D.1.2 Palete 14_15 Segundo aperto - 5 eixos posicionais

Tabela D.2: Quadro resumo do processo de maquinagem do postiço SA7968_100B e SA7968_100E - Segundo aperto.

Ordem	Operação	Imagem	Ferramenta	Parâmetros de corte
1	Desbaste planos (Desbaste do modelo)		T10_16X2_L105 - Fresa de navalhas	$S = 4500$ rpm $F = 2800$ mm/min $A_p = 0.2$ mm/passagem $A_e = 6.5$ mm Sobremetal(XY): 0.4 mm Sobremetal(Z): 0.4 mm Plano de trabalho: DMU60
2	Desbaste planos 1 (Acabamento Z Constante)		T10_16X2_L105 - Fresa de navalhas	$S = 4500$ rpm $F = 2800$ mm/min $A_p = 0.25$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0.3 mm Sobremetal(Z): 0.3 mm Plano de trabalho: DMU60

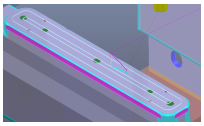
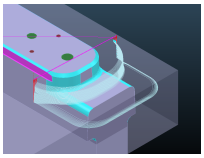
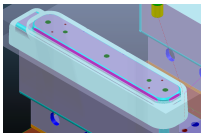
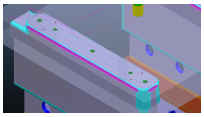
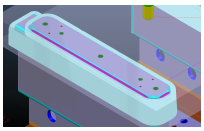
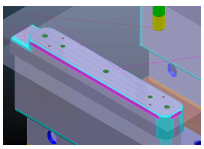
Ordem	Operação	Imagem	Ferramenta	Parâmetros de corte
3	Redesbaste planos (Desbaste do resíduo do modelo)		T25_4x1_L30 - Fresa de navalhas	$S = 12000$ rpm $F = 2000$ mm/min $A_p = 0.18$ mm/passagem $A_e = 1.8$ mm Sobremetal(XY): 0.22 mm Sobremetal(Z): 0.22 mm Plano de trabalho: DMU60
4	Pré planos (Desbaste do resíduo do modelo)		T25_4x1_L30 - Fresa de navalhas	$S = 12000$ rpm $F = 2000$ mm/min $A_p = 0.18$ mm/passagem $A_e = 1.8$ mm Sobremetal(XY): 0.22 mm Sobremetal(Z): 0.22 mm Plano de trabalho: DMU60
5	Redução pré planos (Acabamento Z constante)		T32_2x0.5_L30 - Fresa de navalhas	$S = 14000$ rpm $F = 1300$ mm/min $A_p = 0.14$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0.18 mm Sobremetal(Z): 0.18 mm Plano de trabalho: DMU60
6	Redução pré planos 1 (Acabamento Z constante)		T33_1.5ESF_L26 - Fresa de navalhas	$S = 18000$ rpm $F = 1000$ mm/min $A_p = 0.105$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0.15 mm Sobremetal(Z): 0.15 mm Plano de trabalho: DMU60
7	Pré gravação (Acabamento raster)		T33_1.5ESF_L26 - Fresa de navalhas	$S = 18000$ rpm $F = 1000$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = 0.1$ mm Sobremetal(XY): 0.09 mm Sobremetal(Z): 0.09 mm Plano de trabalho: DMU60
8	Acabamento gravação 1 (Acabamento raster)		T28_3ESF_L35 - Fresa de navalhas	$S = 13000$ rpm $F = 1200$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = 0.11$ mm Sobremetal(XY): 0.04 mm Sobremetal(Z): 0.04 mm Plano de trabalho: DMU60
9	Redução raios (Acabamento Z constante)		T35_1ESF_L29 - Fresa de navalhas	$S = 18000$ rpm $F = 500$ mm/min $A_p = 0.035$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0.08 mm Sobremetal(Z): 0.08 mm Plano de trabalho: DMU60

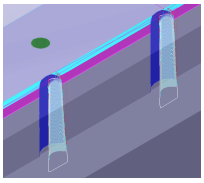
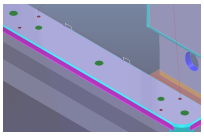
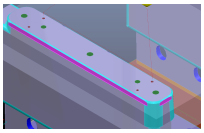
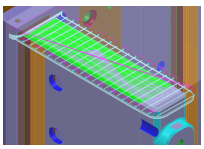
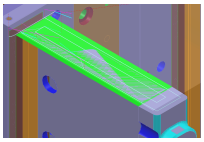
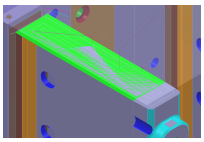
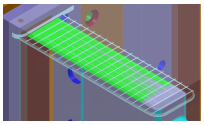
Ordem	Operação	Imagem	Ferramenta	Parâmetros de corte
10	Acabamento gravação 1 (Acabamento raster)		T35_1ESF_L29 - Fresa de navalhas	$S = 18000$ rpm $F = 500$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = 0.025$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: DMU60
11	Pencil gravação (Acabamento de cantos pencil)		T35_1ESF_L29 - Fresa de navalhas	$S = 18000$ rpm $F = 500$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: DMU60
12	Acabamento redução de raios (Acabamento 3D offset)		T35_1ESF_L29 - Fresa de navalhas	$S = 18000$ rpm $F = 500$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = 0.025$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: DMU60
13	Pencil redução de raios (Acabamento de cantos pencil)		T35_1ESF_L29 - Fresa de navalhas	$S = 18000$ rpm $F = 500$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: DMU60

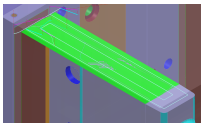
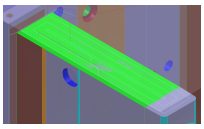
D.2 Palete SA 91_92

D.2.1 Palete 91_92 Primeiro aperto - 5 eixos posicionais

Tabela D.3: Quadro resumo do processo de maquinagem do postiço SA7982_700A3 e SA7982_700A4.

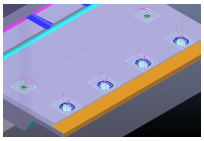
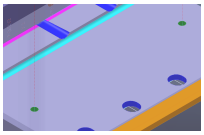
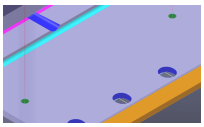
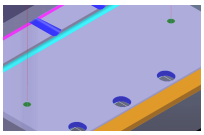
Ordem	Operação	Imagem	Ferramenta	Parâmetros de corte
1	Desbaste de planos (Desbaste de camada)		T8_20X1_L100 _PRE - Fresa de pastilhas	$S = 3500$ rpm $F = 3000$ mm/min $A_p = 0.2$ mm/passagem $A_e = 12.6$ mm Sobremetal(XY): 0.15 mm Sobremetal(Z): 0.15 mm Plano de trabalho: DMU60
2	Desbaste (Acabamento Z constante)		T8_20X1_L100 _PRE - Fresa de pastilhas	$S = 3500$ rpm $F = 3000$ mm/min $A_p = 0.25$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 10 mm Sobremetal(Z): 0.2 mm Plano de trabalho: DMU60
3	Pré Contorno (Acabamento Z constante)		T8_20X1_L100 _PRE - Fresa de pastilhas	$S = 3500$ rpm $F = 3000$ mm/min $A_p = 0.35$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0.15 mm Sobremetal(Z): 0.15 mm Plano de trabalho: DMU60
4	Pré planos (Desbaste de camada)		T8_20X1_L100 _PRE - Fresa de pastilhas	$S = 2000$ rpm $F = 2000$ mm/min $A_p = 0.15$ mm/passagem $A_e = 12.6$ mm Sobremetal(XY): 0.2 mm Sobremetal(Z): 0.1 mm Plano de trabalho: DMU60
5	Acabamento contorno (Acabamento Z constante)		T9_20X1_L100 _ACAB - Fresa de pastilhas	$S = 3000$ rpm $F = 3500$ mm/min $A_p = 0.23$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0.06 mm Plano de trabalho: DMU60
6	Acabamento planos (Desbaste de camada)		T9_20X1_L100 _ACAB - Fresa de pastilhas	$S = 1600$ rpm $F = 700$ mm/min $A_p = 0.1$ mm/passagem $A_e = 12.6$ mm Sobremetal(XY): 0.05 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: DMU60

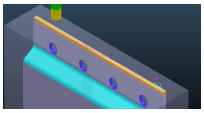
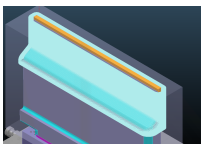
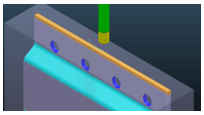
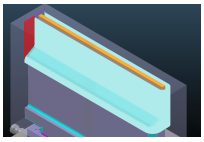
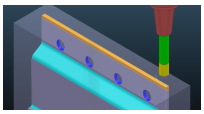
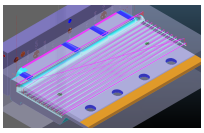
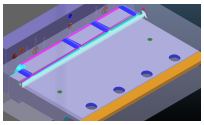
Ordem	Operação	Imagem	Ferramenta	Parâmetros de corte
7	Redução folga (Acabamento Z constante)		T13_10x1_L47 - Fresa de navalhas	$S = 7000$ rpm $F = 4000$ mm/min $A_p = 0.2$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0.1 mm Sobremetal(Z): 0.1 mm Plano de trabalho: DMU60
8	Furação ϕ 4 mm (Furação picote simples)		T55_BROCA _D4H7_L33 - Broca	$S = 5570$ rpm $F = 525$ mm/min Profundidade= $--$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: DMU60
9	Escarear furo ϕ 4 mm (Furação picote simples)		T58_ESCAR_D20 _L75 - Escarearador	$S = 2000$ rpm $F = 500$ mm/min Profundidade= 2.4 mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: DMU60
10	Redesbaste X-90Z180 (Desbaste de resíduo do modelo)		T7_20x2_L29 - Fresa de pastilhas	$S = 2200$ rpm $F = 5000$ mm/min $A_p = 0.3$ mm/passagem $A_e = 11$ mm Sobremetal(XY): 0.3 mm Sobremetal(Z): 0.3 mm Plano de trabalho: X-90Z180
11	Pré Plano X-90Z180 (Desbaste de camada)		T8_20X1_L100 _PRE - Fresa de pastilhas	$S = 3500$ rpm $F = 3000$ mm/min $A_p = 0.15$ mm/passagem $A_e = 12.6$ mm Sobremetal(XY): 0.5 mm Sobremetal(Z): 0.1 mm Plano de trabalho: X-90Z180
12	Acabamento Plano X-90Z180 (Desbaste de camada)		T9_20X1_L100 _ACAB - Fresa de pastilhas	$S = 1600$ rpm $F = 700$ mm/min $A_p = 0.1$ mm/passagem $A_e = 11.2$ mm Sobremetal(XY): 0.5 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: X-90Z180
13	Redesbaste X-90 (Desbaste de resíduo do modelo)		T7_20x2_L29 - Fresa de pastilhas	$S = 2200$ rpm $F = 5000$ mm/min $A_p = 0.3$ mm/passagem $A_e = 11$ mm Sobremetal(XY): 0.3 mm Sobremetal(Z): 0.3 mm Plano de trabalho: X-90

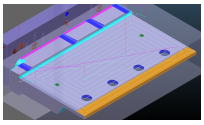
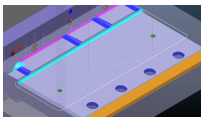
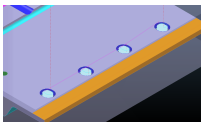
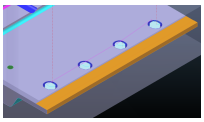
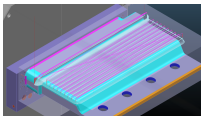
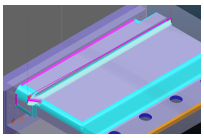
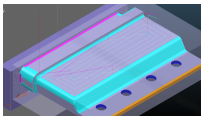
Ordem	Operação	Imagem	Ferramenta	Parâmetros de corte
14	Pré Plano X-90 (Desbaste de camada)		T8_20X1_L100 _PRE - Fresa de pastilhas	$S = 3500$ rpm $F = 3000$ mm/min $A_p = 0.15$ mm/passagem $A_e = 12.6$ mm Sobremetal(XY): 0.5 mm Sobremetal(Z): 0.1 mm Plano de trabalho: X-90
15	Acabamento Plano X-90 (Desbaste de camada)		T9_20X1_L100 _ACAB - Fresa de pastilhas	$S = 1600$ rpm $F = 700$ mm/min $A_p = 0.1$ mm/passagem $A_e = 11.2$ mm Sobremetal(XY): 0.5 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: X-90

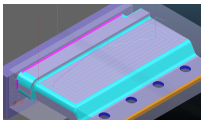
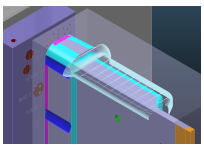
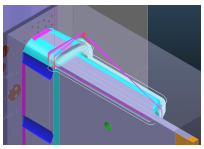
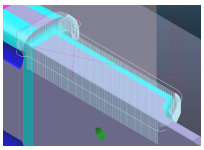
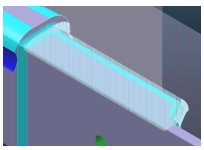
D.2.2 Palete 92 Segundo aperto - 5 eixos posicionais

Tabela D.4: Quadro resumo do processo de maquinagem do postiço SA7982_700A4 - Segundo aperto.

Ordem	Operação	Imagem	Ferramenta	Parâmetros de corte
1	Redesbaste (Desbaste de resíduo de modelo)		T13_10x1_L47 - Fresa de navalhas	$S = 7000$ rpm $F = 4000$ mm/min $A_p = 0.3$ mm/passagem $A_e = 4.5$ mm Sobremetal(XY): 1 mm Sobremetal(Z): 0.4 mm Plano de trabalho: Y90
2	Furação M12 Y90 (Furação picote simples)		T41_BROCA _D10.5_L102 - Broca	$S = 2100$ rpm $F = 531$ mm/min Profundidade = 32 mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: Y90
3	Escarear furo M12 Y90 (Furação picote simples)		T58_ESCAR_D20 _L75 - Escareador	$S = 2000$ rpm $F = 500$ mm/min Profundidade= 6 mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: Y90
4	Roscar furo M12 Y90 (Furação picote simples)		T105_ROSCAR _M12_L45 - Fresa de roscar	$S = 2130$ rpm $F = 420$ mm/min Profundidade= 22 mm Passo= 1.75 mm Sobremetal(XY): -0.89 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: Y90

Ordem	Operação	Imagem	Ferramenta	Parâmetros de corte
5	Desbaste de planos (Desbaste de camada)		T8_20X1_L100 _PRE - Fresa de pastilhas	$S = 3500$ rpm $F = 3000$ mm/min $A_p = 0.2$ mm/passagem $A_e = 12.6$ mm Sobremetal(XY): 1.5 mm Sobremetal(Z): 0.1 mm Plano de trabalho: DMU60
6	Pré contorno (Desbaste de camada)		T8_20X1_L100 _PRE - Fresa de pastilhas	$S = 3500$ rpm $F = 3000$ mm/min $A_p = 0.35$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0.15 mm Sobremetal(Z): 0.15 mm Plano de trabalho: DMU60
7	Pré planos (Desbaste de camada)		T8_20X1_L100 _PRE - Fresa de pastilhas	$S = 2000$ rpm $F = 2000$ mm/min $A_p = 0.15$ mm/passagem $A_e = 12.6$ mm Sobremetal(XY): 0.2 mm Sobremetal(Z): 0.1 mm Plano de trabalho: DMU60
8	Acabamento contorno (Acabamento Z constante)		T9_20X1_L100 _ACAB - Fresa de pastilhas	$S = 3500$ rpm $F = 3000$ mm/min $A_p = 0.23$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0.06 mm Plano de trabalho: DMU60
9	Acabamento planos (Desbaste de camada)		T9_20X1_L100 _ACAB - Fresa de pastilhas	$S = 3000$ rpm $F = 7000$ mm/min $A_p = 0.1$ mm/passagem $A_e = 11.2$ mm Sobremetal(XY): 0.06 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: DMU60
10	Redesbaste planos Y90 (Desbaste de resíduo de modelo)		T1_25x2_L34 - Fresa de pastilhas	$S = 2000$ rpm $F = 5000$ mm/min $A_p = 0.3$ mm/passagem $A_e = 12$ mm Sobremetal(XY): 0.25 mm Sobremetal(Z): 0.25 mm Plano de trabalho: Y90
11	Acabamento folga Y90 (Acabamento Z constante)		T9_20X1_L100 _ACAB - Fresa de pastilhas	$S = 3500$ rpm $F = 3000$ mm/min $A_p = 0.25$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0.3 mm Plano de trabalho: Y90

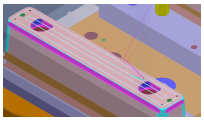
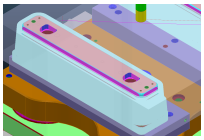
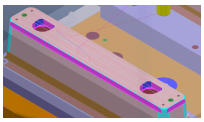
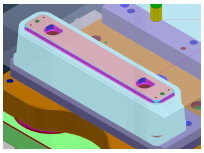
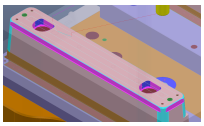
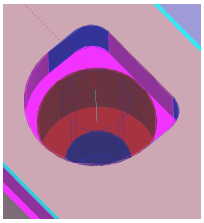
Ordem	Operação	Imagem	Ferramenta	Parâmetros de corte
12	Pré planos Y90 (Desbaste de camada)		T8_20X1_L100 _PRE - Fresa de pastilhas	$S = 3500$ rpm $F = 3000$ mm/min $A_p = 0.2$ mm/passagem $A_e = 12.6$ mm Sobremetal(XY): 0.05 mm Sobremetal(Z): 0.1 mm Plano de trabalho: Y90
13	Acabamento planos Y90 (Desbaste de camada)		T9_20X1_L100 _ACAB - Fresa de pastilhas	$S = 2500$ rpm $F = 700$ mm/min $A_p = 0.1$ mm/passagem $A_e = 10$ mm Sobremetal(XY): 0.05 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: Y90
14	Pré furos folga Y90 (Acabamento Z constante)		T17_8x0.5_L45 - Fresa de navalhas	$S = 8000$ rpm $F = 3500$ mm/min $A_p = 0.25$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0.3 mm Sobremetal(Z): 0.3 mm Plano de trabalho: Y90
15	Acabamento furos folga Y90 (Acabamento Z constante)		T17_8x0.5_L45 - Fresa de navalhas	$S = 8000$ rpm $F = 2500$ mm/min $A_p = 0.25$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: Y90
16	Redesbaste planos Y-90 (Desbaste de resíduo de modelo)		T1_25x2_L34 - Fresa de pastilhas	$S = 2000$ rpm $F = 5000$ mm/min $A_p = 0.3$ mm/passagem $A_e = 12$ mm Sobremetal(XY): 0.25 mm Sobremetal(Z): 0.25 mm Plano de trabalho: Y-90
17	Acabamento folga Y-90 (Acabamento Z constante)		T9_20X1_L100 _ACAB - Fresa de pastilhas	$S = 3500$ rpm $F = 3000$ mm/min $A_p = 0.25$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0.3 mm Plano de trabalho: Y-90
18	Pré planos Y-90 (Desbaste de camada)		T8_20X1_L100 _PRE - Fresa de pastilhas	$S = 3500$ rpm $F = 3000$ mm/min $A_p = 0.2$ mm/passagem $A_e = 12.6$ mm Sobremetal(XY): 0.05 mm Sobremetal(Z): 0.1 mm Plano de trabalho: Y-90

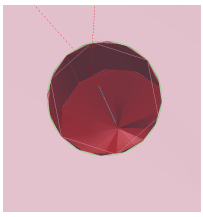
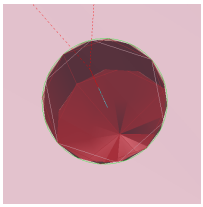
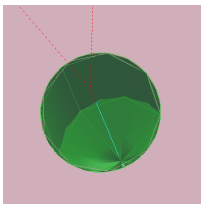
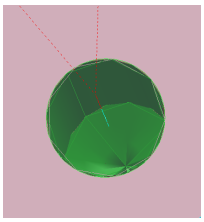
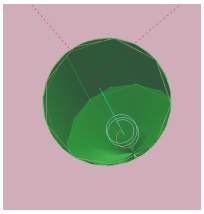
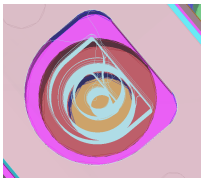
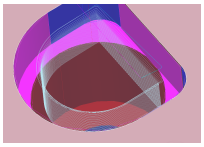
Ordem	Operação	Imagem	Ferramenta	Parâmetros de corte
19	Acabamento planos Y-90 (Desbaste de camada)		T9_20X1_L100 _ACAB - Fresa de pastilhas	$S = 2500$ rpm $F = 700$ mm/min $A_p = 0.1$ mm/passagem $A_e = 10$ mm Sobremetal(XY): 0.05 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: Y-90
20	Redesbaste X-90 (Desbaste de resíduo de modelo)		T1_25x2_L34 - Fresa de pastilhas	$S = 2000$ rpm $F = 5000$ mm/min $A_p = 0.3$ mm/passagem $A_e = 12$ mm Sobremetal(XY): 0.25 mm Sobremetal(Z): 0.25 mm Plano de trabalho: X-90
21	Pré CTZ X-90 (Acabamento Z constante)		T13_10x1_L47 - Fresa de navalhas	$S = 7000$ rpm $F = 4000$ mm/min $A_p = 0.3$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0.15 mm Sobremetal(Z): 0.15 mm Plano de trabalho: X-90
22	Pré CP X-90 (Acabamento raster)		T13_10x1_L47 - Fresa de navalhas	$S = 7000$ rpm $F = 4000$ mm/min $A_p = 0.35$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0.15 mm Sobremetal(Z): 0.15 mm Plano de trabalho: X-90
23	Acabamento X-90 (Acabamento raster)		T12_10x3_L45 _ACB - Fresa de navalhas	$S = 8000$ rpm $F = 2400$ mm/min $A_p = 0.22$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: X-90

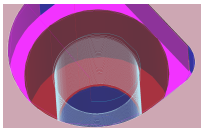
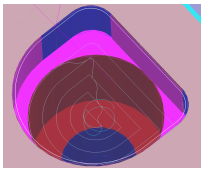
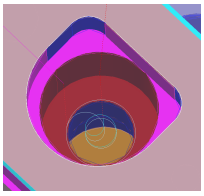
D.3 Palete 112_113

D.3.1 Palete 112_113 AP1 5P

Tabela D.5: Quadro resumo do processo de maquinagem dos postiços de levantador SA7978_540 e SA7978_542 - Primeiro aperto - 5 eixos posicionais.

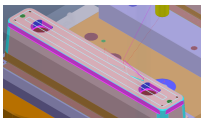
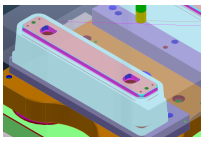
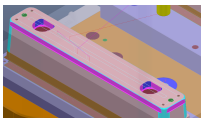
Ordem	Operação	Imagem	Ferramenta	Parâmetros de corte
1	Desbaste de planos (Desbaste de camada)		T8_20X1_L100 _PRE - Fresa de pastilhas	$S = 3500$ rpm $F = 2000$ mm/min $A_p = 0.2$ mm/passagem $A_e = 12.6$ mm Sobremetal(XY): 1.5 mm Sobremetal(Z): 0.15 mm Plano de trabalho: DMU60
2	Pré contorno (Acabamento Z constante)		T8_20X1_L100 _PRE - Fresa de pastilhas	$S = 3500$ rpm $F = 3000$ mm/min $A_p = 0.35$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0.15 mm Sobremetal(Z): 0.15 mm Plano de trabalho: DMU60
3	Pré planos (Desbaste de camada)		T8_20X1_L100 _PRE - Fresa de pastilhas	$S = 2000$ rpm $F = 2000$ mm/min $A_p = 0.15$ mm/passagem $A_e = 12.6$ mm Sobremetal(XY): 0.2 mm Sobremetal(Z): 0.1 mm Plano de trabalho: DMU60
4	Acabamento contorno (Acabamento Z constante)		T9_20X1_L100 _ACAB - Fresa de pastilhas	$S = 3500$ rpm $F = 3000$ mm/min $A_p = 0.23$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0.06 mm Plano de trabalho: DMU60
5	Acabamento planos (Desbaste de camada)		T9_20X1_L100 _ACAB - Fresa de pastilhas	$S = 3000$ rpm $F = 7000$ mm/min $A_p = 0.1$ mm/passagem $A_e = 11.2$ mm Sobremetal(XY): 0.05 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: DMU60
6	Furação taco (Furação picote simples)		T42_BROCA _D10H7_L70 - Broca	$S = 2100$ rpm $F = 550$ mm/min Profundidade= 10 mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: DMU60

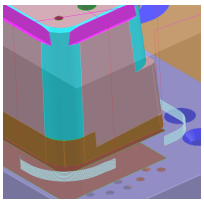
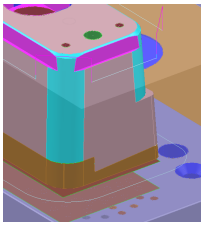
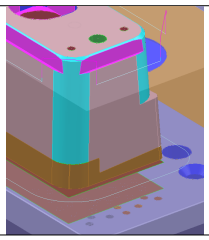
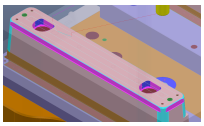
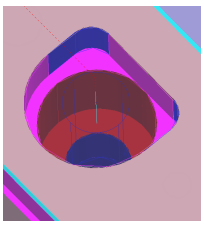
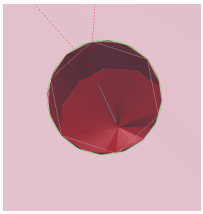
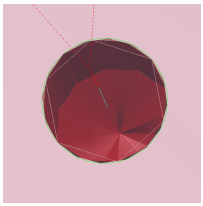
Ordem	Operação	Imagem	Ferramenta	Parâmetros de corte
7	Furação ϕ 4 mm (Furação picote simples)		T55_BROCA _D4H7_L33 - Broca	$S = 5570$ rpm $F = 525$ mm/min Profundidade= $--$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: DMU60
8	Escarear furo ϕ 4 mm (Furação picote simples)		T58_ESCAR _D20_L75 - Escareador	$S = 2000$ rpm $F = 500$ mm/min Profundidade= 2.4 mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: DMU60
9	Furação M10 (Furação picote simples)		T45_BROCA _D8.5_L88 - Broca	$S = 2600$ rpm $F = 500$ mm/min Profundidade= $--$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: DMU60
10	Escarear furo M10 (Furação picote simples)		T58_ESCAR _D20_L75 - Escareador	$S = 2000$ rpm $F = 500$ mm/min Profundidade= 4.75 mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: DMU60
11	Roscar furo M10 (Fresagem de rosca)		T104_ROSCAR _M10_L42 - Fresa de roscar	$S = 2250$ rpm $F = 340$ mm/min Profundidade= 18 mm Passo= 1.5 mm Sobremetal(XY): -0.76 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: DMU60
12	Desbaste veios (Desbaste do modelo)		T13_10x1_L47 - Fresa de navalhas	$S = 7000$ rpm $F = 4000$ mm/min $A_p = 0.3$ mm/passagem $A_e = 4.9$ mm Sobremetal(XY): 0.25 mm Sobremetal(Z): 0.15 mm Plano de trabalho: DMU60
13	Acabamento cabeça veios (Acabamento Z constante)		T14_10x0.5_L47 - Fresa de navalhas	$S = 9000$ rpm $F = 3500$ mm/min $A_p = 0.2$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0.1 mm Plano de trabalho: DMU60

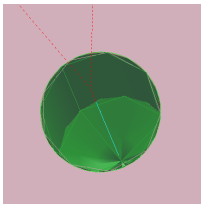
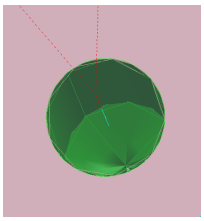
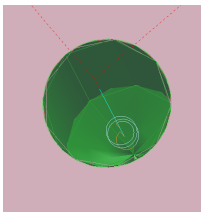
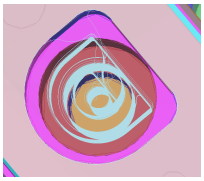
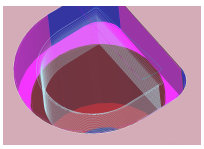
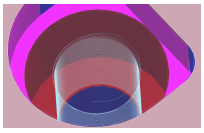
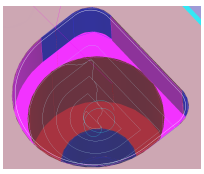
Ordem	Operação	Imagem	Ferramenta	Parâmetros de corte
14	Pré veios (Acabamento Z constante)		T14_10x0.5_L47 - Fresa de navalhas	$S = 9000$ rpm $F = 3500$ mm/min $A_p = 0.2$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0.2 mm Sobremetal(Z): 0.1 mm Plano de trabalho: DMU60
15	Acabamento fundo cabeça veios (Desbaste de camada)		T76_D6_FRK _ACAB_L30 - Fresa de navalhas	$S = 3000$ rpm $F = 700$ mm/min $A_p = 0.1$ mm/passagem $A_e = 2.5$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: DMU60
16	Acabamento fundo veios (Desbaste de camada)		T14_10x0.5_L47 - Fresa de navalhas	$S = 9000$ rpm $F = 2000$ mm/min $A_p = 0.1$ mm/passagem $A_e = 4$ mm Sobremetal(XY): 0.25 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: DMU60

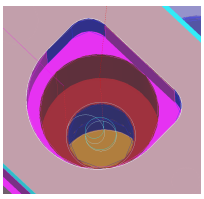
D.3.2 Palete 112_113 AP1 5C

Tabela D.6: Quadro resumo do processo de maquinagem dos postiços de levantador SA7978_540 e SA7978_542 - Primeiro aperto - 5 eixos contínuos.

Ordem	Operação	Imagem	Ferramenta	Parâmetros de corte
1	Desbaste de planos (Desbaste de camada)		T8_20X1_L100 _PRE - Fresa de pastilhas	$S = 3500$ rpm $F = 2000$ mm/min $A_p = 0.2$ mm/passagem $A_e = 12.6$ mm Sobremetal(XY): 1.5 mm Sobremetal(Z): 0.15 mm Plano de trabalho: DMU60
2	Pré contorno (Acabamento Z constante)		T8_20X1_L100 _PRE - Fresa de pastilhas	$S = 3500$ rpm $F = 3000$ mm/min $A_p = 0.35$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0.15 mm Sobremetal(Z): 0.15 mm Plano de trabalho: DMU60
3	Pré planos (Desbaste de camada)		T8_20X1_L100 _PRE - Fresa de pastilhas	$S = 2000$ rpm $F = 2000$ mm/min $A_p = 0.15$ mm/passagem $A_e = 12.6$ mm Sobremetal(XY): 0.2 mm Sobremetal(Z): 0.1 mm Plano de trabalho: DMU60

Ordem	Operação	Imagem	Ferramenta	Parâmetros de corte
4	Cortar mestras (Acabamento Z constante)		T8_20X1_L100 _PRE - Fresa de pastilhas	$S = 3500$ rpm $F = 3000$ mm/min $A_p = 0.2$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0.07 mm Sobremetal(Z): 0.07 mm Plano de trabalho: DMU60
5	Pré contorno swarf (Acabamento swarf)		T70_D25_FRK _DESB_L93 - Fresa de navalhas	$S = 4000$ rpm $F = 3000$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0.08 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: DMU60
6	Acabamento contorno swarf (Acabamento swarf)		T70_D25_FRK _DESB_L93 - Fresa de navalhas	$S = 4000$ rpm $F = 3000$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: DMU60
7	Acabamento planos (Desbaste de camada)		T9_20X1_L100 _ACAB - Fresa de pastilhas	$S = 3000$ rpm $F = 7000$ mm/min $A_p = 0.1$ mm/passagem $A_e = 11.2$ mm Sobremetal(XY): 0.05 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: DMU60
8	Furação taco (Furação picote simples)		T42_BROCA _D10H7_L70 - Broca	$S = 2100$ rpm $F = 550$ mm/min Profundidade= 10 mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: DMU60
9	Furação ϕ 4 mm (Furação picote simples)		T55_BROCA _D4H7_L33 - Broca	$S = 5570$ rpm $F = 525$ mm/min Profundidade= $--$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: DMU60
10	Escarear furo ϕ 4 mm (Furação picote simples)		T58_ESCAR _D20_L75 - Escareador	$S = 2000$ rpm $F = 500$ mm/min Profundidade= 2.4 mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: DMU60

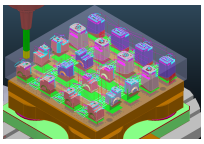
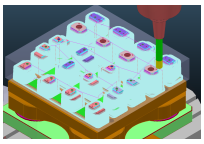
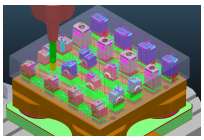
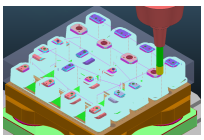
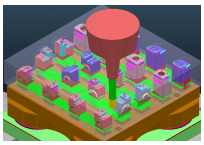
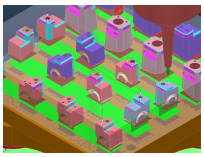
Ordem	Operação	Imagem	Ferramenta	Parâmetros de corte
11	Furação M10 (Furação picote simples)		T45_BROCA _D8.5_L88 - Broca	$S = 2600$ rpm $F = 500$ mm/min Profundidade= $--$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: DMU60
12	Escarear furo M10 (Furação picote simples)		T58_ESCAR _D20_L75 - Escareador	$S = 2000$ rpm $F = 500$ mm/min Profundidade= 4.75 mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: DMU60
13	Roscar furo M10 (Fresagem de rosca)		T104_ROSCAR _M10_L42 - Fresa de roscar	$S = 2250$ rpm $F = 340$ mm/min Profundidade= 18 mm Passo= 1.5 mm Sobremetal(XY): -0.76 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: DMU60
14	Desbaste veios (Desbaste do modelo)		T13_10x1_L47 - Fresa de navalhas	$S = 7000$ rpm $F = 4000$ mm/min $A_p = 0.3$ mm/passagem $A_e = 4.9$ mm Sobremetal(XY): 0.25 mm Sobremetal(Z): 0.15 mm Plano de trabalho: DMU60
15	Acabamento cabeça veios (Acabamento Z constante)		T14_10x0.5_L47 - Fresa de navalhas	$S = 9000$ rpm $F = 3500$ mm/min $A_p = 0.2$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0.1 mm Plano de trabalho: DMU60
16	Pré veios (Acabamento Z constante)		T14_10x0.5_L47 - Fresa de navalhas	$S = 9000$ rpm $F = 3500$ mm/min $A_p = 0.2$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0.2 mm Sobremetal(Z): 0.1 mm Plano de trabalho: DMU60
17	Acabamento fundo cabeça veios (Desbaste de camada)		T76_D6_FRK _ACAB_L30 - Fresa de navalhas	$S = 3000$ rpm $F = 700$ mm/min $A_p = 0.1$ mm/passagem $A_e = 2.5$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: DMU60

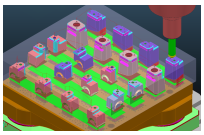
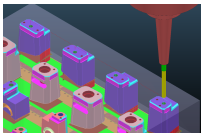
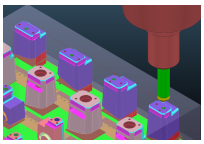
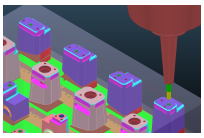
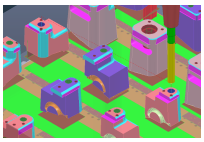
Ordem	Operação	Imagem	Ferramenta	Parâmetros de corte
18	Acabamento fundo veios (Desbaste de camada)		T14_10x0.5_L47 - Fresa de navalhas	$S = 9000$ rpm $F = 2000$ mm/min $A_p = 0.1$ mm/passagem $A_e = 4$ mm Sobremetal(XY): 0.25 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: DMU60

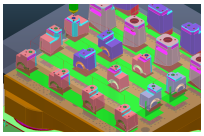
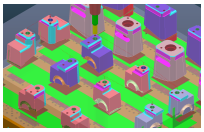
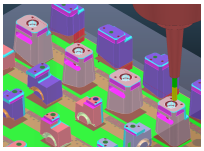
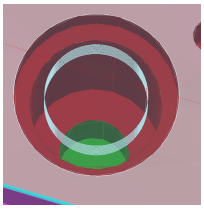
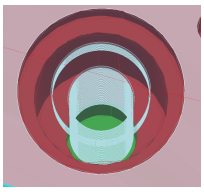
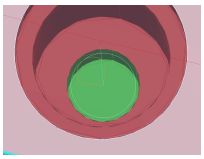
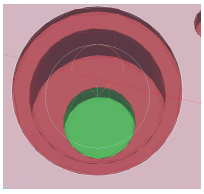
D.4 Palete 176_180_181_182_183

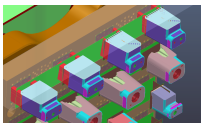
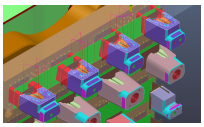
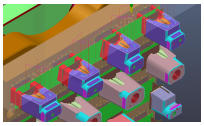
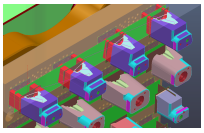
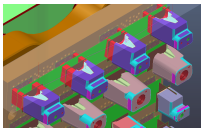
D.4.1 Palete 176_180_181_182_183 AP1 5P

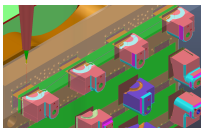
Tabela D.7: Quadro resumo do processo de maquinagem dos vinte postiços idênticos.

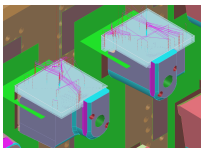
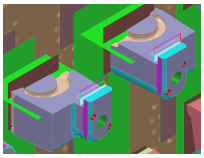
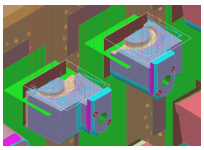
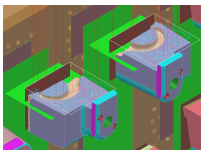
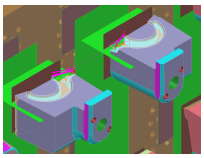
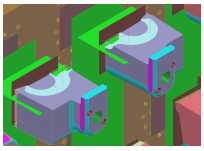
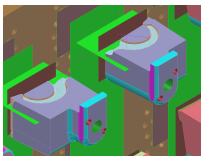
Ordem	Operação	Imagem	Ferramenta	Parâmetros de corte
1	Desbaste de planos (Desbaste de camada)		T4_20X3_L110 - Fresa de pastilhas	$S = 2000$ rpm $F = 6000$ mm/min $A_p = 0.2$ mm/passagem $A_e = 11.2$ mm Sobremetal(XY): 1.5 mm Sobremetal(Z): 0.15 mm Plano de trabalho: DMU60
2	Pré contorno (Acabamento Z constante)		T4_20X3_L110 - Fresa de pastilhas	$S = 2000$ rpm $F = 6000$ mm/min $A_p = 0.35$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0.15 mm Sobremetal(Z): 0.15 mm Plano de trabalho: DMU60
3	Pré planos (Desbaste de camada)		T4_20X3_L110 - Fresa de pastilhas	$S = 2000$ rpm $F = 2000$ mm/min $A_p = 0.15$ mm/passagem $A_e = 11.2$ mm Sobremetal(XY): 0.2 mm Sobremetal(Z): 0.1 mm Plano de trabalho: DMU60
4	Acabamento contorno (Acabamento Z constante)		T6_20X2_L100 _ACAB - Fresa de pastilhas	$S = 5500$ rpm $F = 3500$ mm/min $A_p = 0.2$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0mm Sobremetal(Z): 0.06 mm Plano de trabalho: DMU60
5	Acabamento planos (Desbaste de camada)		T6_20X2_L100 _ACAB - Fresa de pastilhas	$S = 3000$ rpm $F = 700$ mm/min $A_p = 0.1$ mm/passagem $A_e = 11.2$ mm Sobremetal(XY): 0.05 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: DMU60
6	Acertar planos cavilhas (Furação helicoidal)		T32_2x0.5_L30 - Fresa de navalhas	$S = 14000$ rpm $F = 1200$ mm/min Profundidade= 1.5 mm Passo= 0.1 mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: DMU60

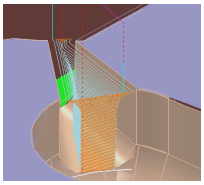
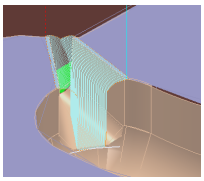
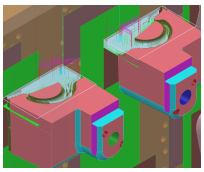
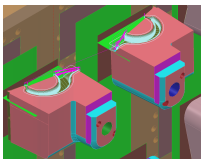
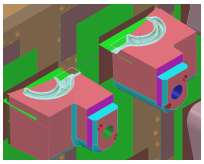
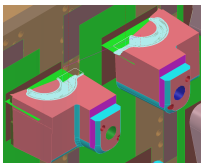
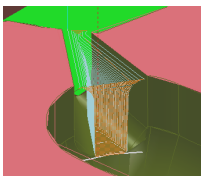
Ordem	Operação	Imagem	Ferramenta	Parâmetros de corte
7	Furação ϕ 4 mm (Furação picote simples)		T55_BROCA _D4H7_L33 - Broca	$S = 5570$ rpm $F = 525$ mm/min Profundidade= $--$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: DMU60
8	Escarear furo ϕ 4 mm (Furação picote simples)		T58_ESCAR _D20_L75 - Escareador	$S = 2000$ rpm $F = 500$ mm/min Profundidade= 2.4 mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: DMU60
9	Furação M8 (Furação picote simples)		T50_BROCA _D6.8_L73 - Broca	$S = 3277$ rpm $F = 490$ mm/min Profundidade= $--$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: DMU60
10	Escarear M8 (Furação picote simples)		T58_ESCAR _D20_L75 - Escareador	$S = 2000$ rpm $F = 500$ mm/min Profundidade= 2.4 mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: DMU60
11	Roscar M8 (Fresagem de rosca)		T103_ROSCAR _M8_L32 - Fresa de roscar	$S = 3000$ rpm $F = 340$ mm/min Profundidade= 15.0 mm Passo = 1.25 mm Sobremetal(XY): -0.635 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: DMU60
12	Furação M10 (Furação picote simples)		T45_BROCA _D8.5_L88 - Broca	$S = 2621$ rpm $F = 524$ mm/min Profundidade= $--$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: DMU60
13	Furação ϕ 9 mm (Furação picote simples)		T44_BROCA _D9_L86 - Broca	$S = 2450$ rpm $F = 520$ mm/min Profundidade= $--$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: DMU60

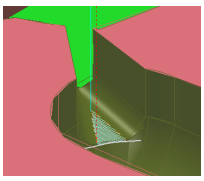
Ordem	Operação	Imagem	Ferramenta	Parâmetros de corte
14	Escarear M10 (Furação picote simples)		T58_ESCAR _D20_L75 - Escareador	$S = 2000$ rpm $F = 500$ mm/min Profundidade= 2.4 mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: DMU60
15	Roscar M10 (Fresagem de rosca)		T104_ROSCAR _M10_L42 - Fresa de roscar	$S = 2250$ rpm $F = 340$ mm/min Profundidade= 18.0 mm Passo = 1.5 mm Sobremetal(XY): -0.76 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: DMU60
16	Desbaste de veios (Acabamento Z constante)		T15_8x1_L45 - Fresa de navalhas	$S = 7000$ rpm $F = 2200$ mm/min $A_p = 0.25$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0.25 mm Sobremetal(Z): 0.1 mm Plano de trabalho: DMU60
17	Acabamento cabeça de veios (Acabamento Z constante)		T17_8x0.5_L45 - Fresa de navalhas	$S = 8000$ rpm $F = 2000$ mm/min $A_p = 0.2$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0.1 mm Plano de trabalho: DMU60
18	Pré veios (Acabamento Z constante)		T17_8x0.5_L45 - Fresa de navalhas	$S = 8000$ rpm $F = 2000$ mm/min $A_p = 0.2$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0.2 mm Plano de trabalho: DMU60
19	Acabamento fundo veios (Acabamento de cantos pencil)		T17_8x0.5_L45 - Fresa de navalhas	$S = 8000$ rpm $F = 2000$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0.24 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: DMU60
20	Acabamento fundo cabeça veios (Acabamento de cantos pencil)		T17_8x0.5_L45 - Fresa de navalhas	$S = 8000$ rpm $F = 2000$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: DMU60

Ordem	Operação	Imagem	Ferramenta	Parâmetros de corte
21	Desbaste 1 (Desbaste do modelo)		T19_6x1_L30 - Fresa de navalhas	$S = 9000$ rpm $F = 2500$ mm/min $A_p = 0.25$ mm/passagem $A_e = 2.8$ mm Sobremetal(XY): 0.3 mm Sobremetal(Z): 0.3 mm Plano de trabalho: X180Y87Z180
22	Pré planos 1 (Desbaste de camada)		T27_4x0.5_L31 - Fresa de navalhas	$S = 12000$ rpm $F = 2000$ mm/min $A_p = 0.1$ mm/passagem $A_e = 2.1$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0.1 mm Plano de trabalho: X180Y87Z180
23	Acabamento planos 1 (Desbaste de camada)		T27_4x0.5_L31 - Fresa de navalhas	$S = 12000$ rpm $F = 400$ mm/min $A_p = 0.1$ mm/passagem $A_e = 2.1$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: X180Y87Z180
24	Redesbaste frisos CTZ (Acabamento Z constante)		T25_4x1_L30 - Fresa de navalhas	$S = 12000$ rpm $F = 3500$ mm/min $A_p = 0.2$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0.2 mm Sobremetal(Z): 0.2 mm Plano de trabalho: X180Y87Z180
25	Pré frisos CTZ (Acabamento Z constante)		T32_2x0.5_L30 - Fresa de navalhas	$S = 12000$ rpm $F = 1400$ mm/min $A_p = 0.125$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0.15 mm Sobremetal(Z): 0.15 mm Plano de trabalho: X180Y87Z180
26	Pré frisos CP (Acabamento raster)		T32_2x0.5_L30 - Fresa de navalhas	$S = 12000$ rpm $F = 1400$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = 0.15$ mm Sobremetal(XY): 0.11 mm Sobremetal(Z): 0.11 mm Plano de trabalho: X180Y87Z180
27	Acabamento frisos CP (Acabamento 3D offset)		T32_2x0.5_L30 - Fresa de navalhas	$S = 12000$ rpm $F = 1400$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = 0.1$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: X180Y87Z180

Ordem	Operação	Imagem	Ferramenta	Parâmetros de corte
28	Pencil frisos (Acabamento de cantos pencil)		T32_2x0.5_L30 - Fresa de navalhas	$S = 12000$ rpm $F = 1400$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: X180Y87Z180
29	Desbaste Bayer 1 (Desbaste do modelo)		T25_4x1_L30 - Fresa de navalhas	$S = 12000$ rpm $F = 3500$ mm/min $A_p = 0.2$ mm/passagem $A_e = 1.4$ mm Sobremetal(XY): 0.3 mm Sobremetal(Z): 0.3 mm Plano de trabalho: Y-90
30	Pré Bayer CTZ 1 (Acabamento Z constante)		T30_2ESF_L28 - Fresa de navalhas	$S = 16000$ rpm $F = 1000$ mm/min $A_p = 0.125$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0.25 mm Sobremetal(Z): 0.25 mm Plano de trabalho: Y-90
31	Pré Bayer 3D 1 (Acabamento 3D offset)		T30_2ESF_L28 - Fresa de navalhas	$S = 16000$ rpm $F = 1000$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = 0.1$ mm Sobremetal(XY): 0.13 mm Sobremetal(Z): 0.13 mm Plano de trabalho: Y-90
32	Acabamento Bayer 1 (Acabamento 3D offset)		T30_2ESF_L28 - Fresa de navalhas	$S = 16000$ rpm $F = 1000$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = 0.1$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: Y-90
33	Acabamento Bayer 1.1 (Acabamento Z constante)		T35_1ESF_L29 - Fresa de navalhas	$S = 18000$ rpm $F = 500$ mm/min $A_p = 0.035$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: Y-90
34	Acabamento fundo Bayer 1 (Acabamento raster)		T35_1ESF_L29 - Fresa de navalhas	$S = 18000$ rpm $F = 500$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = 0.03$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: Y-90

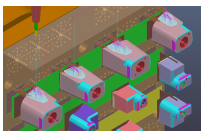
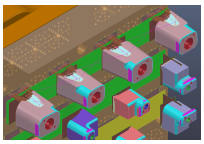
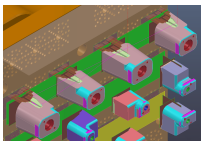
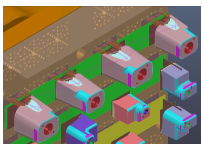
Ordem	Operação	Imagem	Ferramenta	Parâmetros de corte
35	Desbaste Bayer 2 (Desbaste do modelo)		T25_4x1_L30 - Fresa de navalhas	$S = 12000$ rpm $F = 3500$ mm/min $A_p = 0.2$ mm/passagem $A_e = 1.4$ mm Sobremetal(XY): 0.3 mm Sobremetal(Z): 0.3 mm Plano de trabalho: X-90Z180
36	Acabamento lateral (Acabamento Z constante)		T25_4x1_L30 - Fresa de navalhas	$S = 12000$ rpm $F = 3500$ mm/min $A_p = 0.125$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0.05 mm Plano de trabalho: X-90Z180
37	Pré planos 2 (Desbaste de camada)		T25_4x1_L30 - Fresa de navalhas	$S = 12000$ rpm $F = 3500$ mm/min $A_p = 0.1$ mm/passagem $A_e = 1.4$ mm Sobremetal(XY): 0.15 mm Sobremetal(Z): 0.1 mm Plano de trabalho: X-90Z180
38	Acabamento planos 2 (Desbaste de camada)		T25_4x1_L30 - Fresa de navalhas	$S = 12000$ rpm $F = 3500$ mm/min $A_p = 0.1$ mm/passagem $A_e = 1.4$ mm Sobremetal(XY): 0.05 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: X-90Z180
39	Pré Bayer CTZ 2 (Acabamento Z constante)		T30_2ESF_L28 - Fresa de navalhas	$S = 16000$ rpm $F = 1000$ mm/min $A_p = 0.125$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0.25 mm Sobremetal(Z): 0.25 mm Plano de trabalho: X-90Z180
40	Pré Bayer 3D 2 (Acabamento 3D offset)		T30_2ESF_L28 - Fresa de navalhas	$S = 16000$ rpm $F = 1000$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = 0.1$ mm Sobremetal(XY): 0.13 mm Sobremetal(Z): 0.13 mm Plano de trabalho: X-90Z180
41	Acabamento Bayer 2 (Acabamento 3D offset)		T30_2ESF_L28 - Fresa de navalhas	$S = 16000$ rpm $F = 1000$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = 0.1$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: X-90Z180

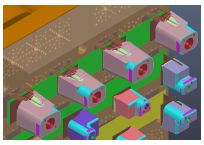
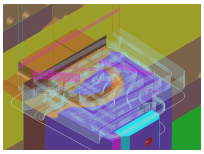
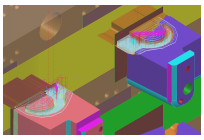
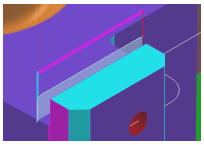
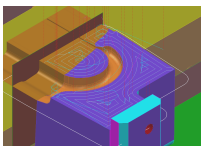
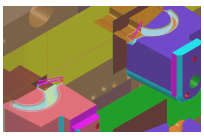
Ordem	Operação	Imagem	Ferramenta	Parâmetros de corte
42	Acabamento Bayer 2.1 (Acabamento Z constante)		T35_1ESF_L29 - Fresa de navalhas	$S = 18000$ rpm $F = 500$ mm/min $A_p = 0.035$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: X-90Z180
43	Acabamento fundo Bayer 2 (Acabamento raster)		T35_1ESF_L29 - Fresa de navalhas	$S = 18000$ rpm $F = 500$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = 0.03$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: X-90Z180
44	Desbaste Bayer 3 (Desbaste do modelo)		T25_4x1_L30 - Fresa de navalhas	$S = 12000$ rpm $F = 3500$ mm/min $A_p = 0.2$ mm/passagem $A_e = 1.4$ mm Sobremetal(XY): 0.3 mm Sobremetal(Z): 0.3 mm Plano de trabalho: X-90
45	Pré Bayer CTZ 3 (Acabamento Z constante)		T30_2ESF_L28 - Fresa de navalhas	$S = 16000$ rpm $F = 1000$ mm/min $A_p = 0.125$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0.25 mm Sobremetal(Z): 0.25 mm Plano de trabalho: X-90
46	Pré Bayer 3D 3 (Acabamento 3D offset)		T30_2ESF_L28 - Fresa de navalhas	$S = 16000$ rpm $F = 1000$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = 0.1$ mm Sobremetal(XY): 0.1 mm Sobremetal(Z): 0.1 mm Plano de trabalho: X-90
47	Acabamento Bayer 3 (Acabamento 3D offset)		T30_2ESF_L28 - Fresa de navalhas	$S = 16000$ rpm $F = 1000$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = 0.1$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: X-90
49	Acabamento Bayer 3.1 (Acabamento Z constante)		T35_1ESF_L29 - Fresa de navalhas	$S = 18000$ rpm $F = 500$ mm/min $A_p = 0.035$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: X-90

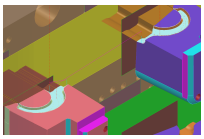
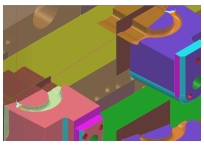
Ordem	Operação	Imagem	Ferramenta	Parâmetros de corte
50	Acabamento fundo Bayer 2 (Acabamento raster)		T35_1ESF_L29 - Fresa de navalhas	$S = 18000$ rpm $F = 500$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = 0.03$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: X-90

D.4.2 Palete 176_180_181_182_183 AP2 5P

Tabela D.8: Quadro resumo do processo de maquinagem dos vinte postiços idênticos.

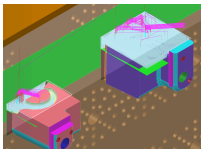
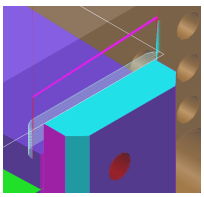
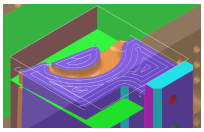
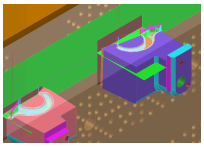
Ordem	Operação	Imagem	Ferramenta	Parâmetros de corte
1	Desbaste porta agrafos (Desbaste do modelo)		T25_4x1_L30 - Fresa de navalhas	$S = 12000$ rpm $F = 3500$ mm/min $A_p = 0.2$ mm/passagem $A_e = 1.9$ mm Sobremetal(XY): 0.15 mm Sobremetal(Z): 0.15 mm Plano de trabalho: Y90
2	Pré porta agrafos CTZ (Acabamento Z constante)		T32_2x0.5_L30 - Fresa de navalhas	$S = 14000$ rpm $F = 3500$ mm/min $A_p = 0.1$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0.13 mm Sobremetal(Z): 0.13 mm Plano de trabalho: Y90
3	Pré porta agrafos CP (Acabamento raster)		T32_2x0.5_L30 - Fresa de navalhas	$S = 14000$ rpm $F = 3500$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = 0.15$ mm Sobremetal(XY): 0.11 mm Sobremetal(Z): 0.11 mm Plano de trabalho: Y90
4	Redução de raios porta agrafos (Acabamento Z constante)		T33_1.5ESF_L26 - Fresa de navalhas	$S = 16000$ rpm $F = 1000$ mm/min $A_p = 0.08$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0.11 mm Sobremetal(Z): 0.11 mm Plano de trabalho: Y90
5	Acabamento porta agrafos (Acabamento raster)		T33_1.5ESF_L26 - Fresa de navalhas	$S = 16000$ rpm $F = 1000$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = 0.08$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: Y90

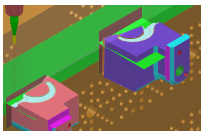
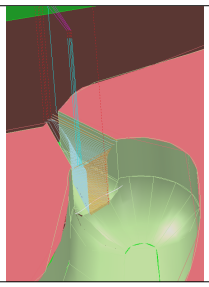
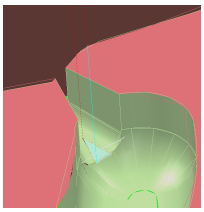
Ordem	Operação	Imagem	Ferramenta	Parâmetros de corte
6	Pencil porta agrafos (Acabamento de canto pencil)		T33_1.5ESF_L26 - Fresa de navalhas	$S = 16000$ rpm $F = 1000$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: Y90
7	Desbaste planos (Desbaste do modelo)		T13_10x1_L47 - Fresa de navalhas	$S = 7000$ rpm $F = 4000$ mm/min $A_p = 0.3$ mm/passagem $A_e = 4.8$ mm Sobremetal(XY): 0.15 mm Sobremetal(Z): 0.15 mm Plano de trabalho: Y-90
8	Desbaste bayer (Desbaste do modelo)		T25_4x1_L30 - Fresa de navalhas	$S = 12000$ rpm $F = 3500$ mm/min $A_p = 0.2$ mm/passagem $A_e = 1.8$ mm Sobremetal(XY): 0.15 mm Sobremetal(Z): 0.15 mm Plano de trabalho: Y-90
9	Acabamento lateral (Acabamento Z constante)		T25_4x1_L30 - Fresa de navalhas	$S = 12000$ rpm $F = 3500$ mm/min $A_p = 0.1$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0.1 mm Plano de trabalho: Y-90
10	Acabamento plano (Desbaste de camada)		T25_4x1_L30 - Fresa de navalhas	$S = 12000$ rpm $F = 2000$ mm/min $A_p = 0.1$ mm/passagem $A_e = 1.7$ mm Sobremetal(XY): 0.05 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: Y-90
11	Pré Bayer CTZ (Acabamento Z constante)		T30_2ESF_L28 - Fresa de navalhas	$S = 16000$ rpm $F = 1000$ mm/min $A_p = 0.1$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0.1 mm Sobremetal(Z): 0.1 mm Plano de trabalho: Y-90
12	Pré Bayer 3D (Acabamento 3D offset)		T30_2ESF_L28 - Fresa de navalhas	$S = 16000$ rpm $F = 1000$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = 0.1$ mm Sobremetal(XY): 0.1 mm Sobremetal(Z): 0.1 mm Plano de trabalho: Y-90

Ordem	Operação	Imagem	Ferramenta	Parâmetros de corte
13	Acabamento Bayer 3D (Acabamento 3D offset)		T30_2ESF_L28 - Fresa de navalhas	$S = 16000$ rpm $F = 1000$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = 0.08$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: Y-90
14	Acabamento Bayer (Acabamento Z constante)		T35_1ESF_L29 - Fresa de navalhas	$S = 18000$ rpm $F = 500$ mm/min $A_p = 0.025$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: Y-90

D.4.3 Palete 176_180_181_182_183 AP3 5P

Tabela D.9: Quadro resumo do processo de maquinagem dos vinte postiços idênticos.

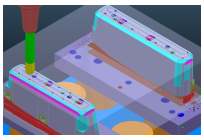
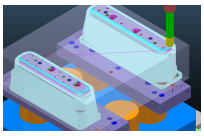
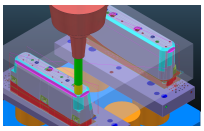
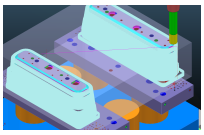
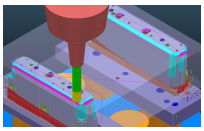
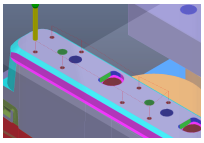
Ordem	Operação	Imagem	Ferramenta	Parâmetros de corte
1	Desbaste planos (Desbaste do modelo)		T25_4x1_L30 - Fresa de navalhas	$S = 12000$ rpm $F = 35000$ mm/min $A_p = 0.2$ mm/passagem $A_e = 1.4$ mm Sobremetal(XY): 0.3 mm Sobremetal(Z): 0.3 mm Plano de trabalho: Y-90
2	Acabamento lateral (Acabamento Z constante)		T25_4x1_L30 - Fresa de navalhas	$S = 12000$ rpm $F = 2000$ mm/min $A_p = 0.1$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: Y-90
3	Acabamento plano (Desbaste de camada)		T25_4x1_L30 - Fresa de navalhas	$S = 12000$ rpm $F = 2000$ mm/min $A_p = 0.1$ mm/passagem $A_e = 2.1$ mm Sobremetal(XY): 0.05 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: Y-90
4	Pré Bayer CTZ (Acabamento Z constante)		T30_2ESF_L28 - Fresa de navalhas	$S = 16000$ rpm $F = 1000$ mm/min $A_p = 0.12$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0.25 mm Sobremetal(Z): 0.25 mm Plano de trabalho: Y-90

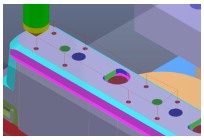
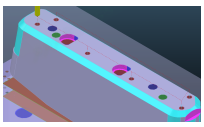
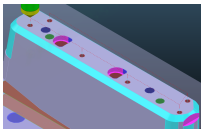
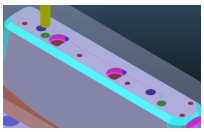
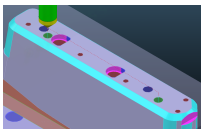
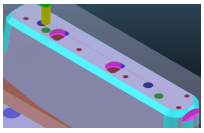
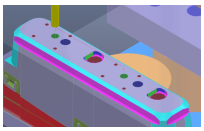
Ordem	Operação	Imagem	Ferramenta	Parâmetros de corte
5	Pré Bayer 3D (Acabamento 3D offset)		T30_2ESF_L28 - Fresa de navalhas	$S = 16000$ rpm $F = 1000$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = 0.1$ mm Sobremetal(XY): 0.13 mm Sobremetal(Z): 0.13 mm Plano de trabalho: Y-90
6	Acabamento Bayer 3D (Acabamento 3D offset)		T30_2ESF_L28 - Fresa de navalhas	$S = 16000$ rpm $F = 1000$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = 0.08$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: Y-90
7	Acabamento Bayer (Acabamento Z constante)		T35_1ESF_L29 - Fresa de navalhas	$S = 18000$ rpm $F = 500$ mm/min $A_p = 0.035$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: Y-90
8	Acabamento Bayer (Acabamento raster)		T35_1ESF_L29 - Fresa de navalhas	$S = 18000$ rpm $F = 500$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = 0.025$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: Y-90

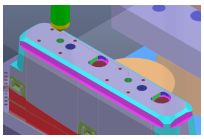
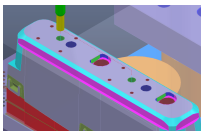
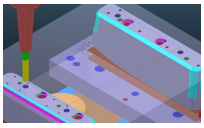
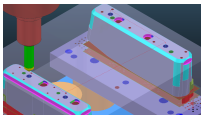
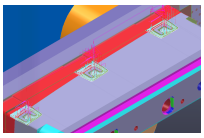
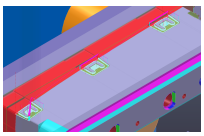
D.5 Palete 208_209

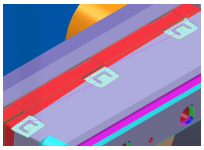
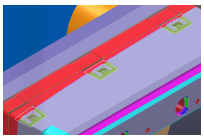
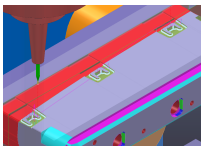
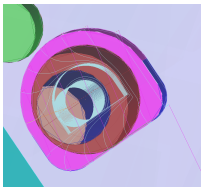
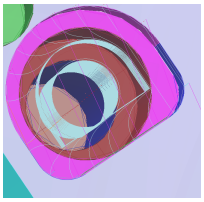
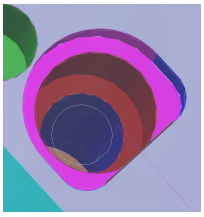
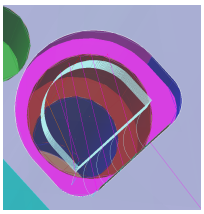
D.5.1 Palete 208_209 Primeiro aperto - 5 eixos posicionais

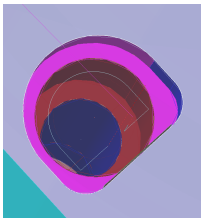
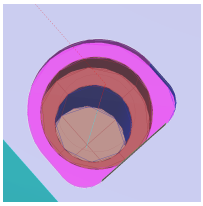
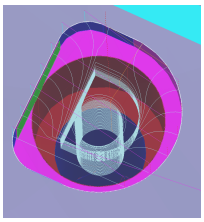
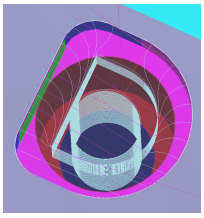
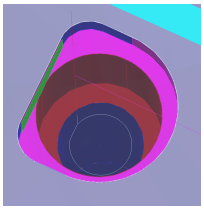
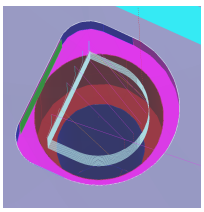
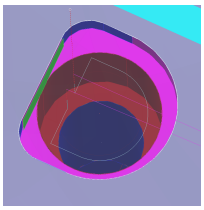
Tabela D.10: Quadro resumo do processo de maquinagem dos postiços SA7954_0508 e SA7954_0509.

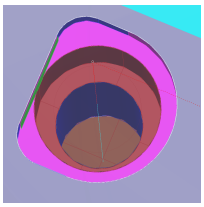
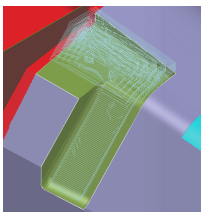
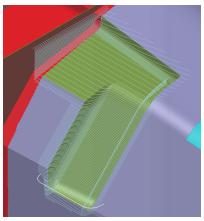
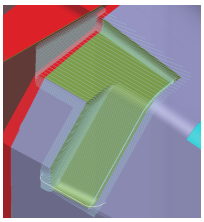
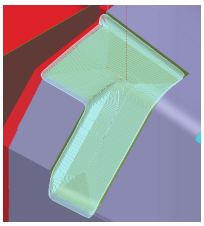
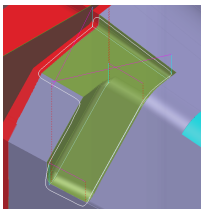
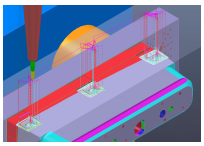
Ordem	Operação	Imagem	Ferramenta	Parâmetros de corte
1	Desbaste de planos (Desbaste de camada)		T4_20X3_L110 - Fresa de pastilhas	$S = 2000$ rpm $F = 6000$ mm/min $A_p = 0.2$ mm/passagem $A_e = 11.2$ mm Sobremetal(XY): 1.5 mm Sobremetal(Z): 0.1 mm Plano de trabalho: DMU60
2	Pré contorno (Acabamento Z constante)		T4_20X3_L110 - Fresa de pastilhas	$S = 2000$ rpm $F = 6000$ mm/min $A_p = 0.35$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0.15 mm Sobremetal(Z): 0.15 mm Plano de trabalho: DMU60
3	Pré planos (Desbaste de camada)		T4_20X3_L110 - Fresa de pastilhas	$S = 2000$ rpm $F = 2000$ mm/min $A_p = 0.15$ mm/passagem $A_e = 11.2$ mm Sobremetal(XY): 0.2 mm Sobremetal(Z): 0.1 mm Plano de trabalho: DMU60
4	Acabamento contorno (Acabamento Z constante)		T6_20X2_L100 _ACAB - Fresa de pastilhas	$S = 5500$ rpm $F = 3500$ mm/min $A_p = 0.23$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0.06 mm Plano de trabalho: DMU60
5	Acabamento planos (Desbaste de camada)		T6_20X2_L100 _ACAB - Fresa de pastilhas	$S = 3000$ rpm $F = 700$ mm/min $A_p = 0.1$ mm/passagem $A_e = 11.2$ mm Sobremetal(XY): 0.06 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: DMU60
6	Furação ϕ 4 mm (Furação picote simples)		T55_BROCA _D4H7_L33 - Broca	$S = 5570$ rpm $F = 525$ mm/min Profundidade= 12 mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: DMU60

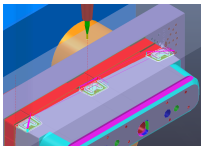
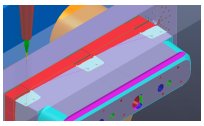
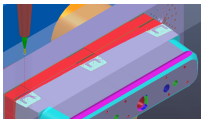
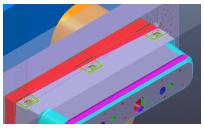
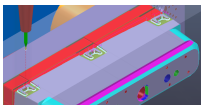
Ordem	Operação	Imagem	Ferramenta	Parâmetros de corte
7	Escarear furo ϕ 4 mm (Furação picote simples)		T58_ESCAR_D20 _L75 - Escareador	$S = 2000$ rpm $F = 500$ mm/min Profundidade= 2.4 mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: DMU60
8	Furação ϕ 6 mm (Furação picote simples)		T51_BROCA_D6 _L54 - Broca	$S = 3700$ rpm $F = 550$ mm/min Profundidade= 10 mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: DMU60
9	Escarear furo ϕ 6 mm (Furação picote simples)		T58_ESCAR_D20 _L75 - Escareador	$S = 2000$ rpm $F = 500$ mm/min Profundidade= 3.6 mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: DMU60
10	Furação M12 (Furação picote simples)		T41_BROCA _D10.5_L102 - Broca	$S = 2122$ rpm $F = 520$ mm/min Profundidade= 30 mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: DMU60
11	Escarear furo M12 (Furação picote simples)		T58_ESCAR_D20 _L75 - Escareador	$S = 2000$ rpm $F = 500$ mm/min Profundidade= 6 mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: DMU60
12	Roscar furo M12 (Fresagem de rosca)		T105_ROSCAR _M12_L45 - Fresa de roscar	$S = 2130$ rpm $F = 420$ mm/min Profundidade= 22 mm Passo= 1.75 mm Sobremetal(XY): -0.89 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: DMU60
13	Furação M10 (Furação picote simples)		T45_BROCA _D8.5_L88 - Broca	$S = 2600$ rpm $F = 500$ mm/min Profundidade= 26 mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: DMU60

Ordem	Operação	Imagem	Ferramenta	Parâmetros de corte
14	Escarear furo M10 (Furação picote simples)		T58_ESCAR_D20 _L75 - Escareador	$S = 2000$ rpm $F = 500$ mm/min Profundidade= 4.75 mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: DMU60
15	Roscar furo M10 (Fresagem de rosca)		T104_ROSCAR _M10_L42 - Fresa de roscar	$S = 2250$ rpm $F = 340$ mm/min Profundidade= 18 mm Passo= 1.5 mm Sobremetal(XY): -0.76 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: DMU60
16	Furação ϕ 11 mm (Furação picote simples)		T40_BROCA _D11_L70 - Broca	$S = 2000$ rpm $F = 440$ mm/min Profundidade= 60 mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: DMU60
17	Escarear furo ϕ 11 mm (Furação picote simples)		T58_ESCAR_D20 _L75 - Escareador	$S = 2000$ rpm $F = 500$ mm/min Profundidade= 6.1 mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: DMU60
18	Desbaste gravação Y90 (Desbaste do modelo)		T25_4x1_L30 - Fresa de navalhas	$S = 12000$ rpm $F = 1000$ mm/min $A_p = 0.2$ mm/passagem $A_e = 1.4$ mm Sobremetal(XY): 0.3 mm Sobremetal(Z): 0.3 mm Plano de trabalho: Y90
19	Pré gravação CTZ Y90 (Acabamento Z constante)		T32_2x0.5_L30 - Fresa de navalhas	$S = 14000$ rpm $F = 1400$ mm/min $A_p = 0.125$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0.25 mm Sobremetal(Z): 0.25 mm Plano de trabalho: Y90
20	Pré gravação CP Y90 (Acabamento raster)		T32_2x0.5_L30 - Fresa de navalhas	$S = 14000$ rpm $F = 1400$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = 0.15$ mm Sobremetal(XY): 0.15 mm Sobremetal(Z): 0.15 mm Plano de trabalho: Y90

Ordem	Operação	Imagem	Ferramenta	Parâmetros de corte
21	Acabamento gravação Y90 (Acabamento 3D offset)		T30_2ESF_L28 - Fresa esférica	$S = 16000$ rpm $F = 1000$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = 0.1$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: Y90
22	Pencil gravação Y90 (Acabamento de cantos pencil)		T30_2ESF_L28 - Fresa esférica	$S = 16000$ rpm $F = 1000$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: Y90
23	Acabamento redução raios gravação Y90 (Acabamento 3D offset)		T35_1ESF_L29 - Fresa esférica	$S = 18000$ rpm $F = 500$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = 0.025$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: Y90
24	Desbaste Veio Y5 (Acabamento Z constante)		T13_10x1_L47 - Fresa de navalhas	$S = 7000$ rpm $F = 4000$ mm/min $A_p = 0.25$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0.15 mm Sobremetal(Z): 0.15 mm Plano de trabalho: Y5
25	Acabamento Veio Y5 (Acabamento Z constante)		T17_8x0.5_L45 - Fresa de navalhas	$S = 8000$ rpm $F = 2500$ mm/min $A_p = 0.2$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: Y5
26	Pencil Veio Y5 (Acabamento de cantos pencil)		T17_8x0.5_L45 - Fresa de navalhas	$S = 8000$ rpm $F = 250$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0.05 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: Y5
27	Acabamento faceta Y5 (Acabamento Z constante)		T17_8x0.5_L45 - Fresa de navalhas	$S = 8000$ rpm $F = 2500$ mm/min $A_p = 0.2$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): -0.2 mm Sobremetal(Z): 0.05 mm Plano de trabalho: Y5

Ordem	Operação	Imagem	Ferramenta	Parâmetros de corte
28	Pencil faceta Y5 (Acabamento de cantos pencil)		T17_8x0.5_L45 - Fresa de navalhas	$S = 8000$ rpm $F = 250$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): -0.15 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: Y5
29	Furação ϕ 11 mm Y5 (Furação picote simples)		T40_BROCA _D11_L70 - Broca	$S = 2000$ rpm $F = 440$ mm/min Profundidade= 53.4 mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: Y5
30	Desbaste Veio Y-5 (Acabamento Z constante)		T13_10x1_L47 - Fresa de navalhas	$S = 7000$ rpm $F = 4000$ mm/min $A_p = 0.25$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0.15 mm Sobremetal(Z): 0.15 mm Plano de trabalho: Y-5
31	Acabamento Veio Y-5 (Acabamento Z constante)		T17_8x0.5_L45 - Fresa de navalhas	$S = 8000$ rpm $F = 2500$ mm/min $A_p = 0.2$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: Y-5
32	Pencil Veio Y-5 (Acabamento de cantos pencil)		T17_8x0.5_L45 - Fresa de navalhas	$S = 8000$ rpm $F = 250$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0.05 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: Y5
33	Acabamento faceta Y-5 (Acabamento Z constante)		T17_8x0.5_L45 - Fresa de navalhas	$S = 8000$ rpm $F = 2500$ mm/min $A_p = 0.2$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): -0.2 mm Sobremetal(Z): 0.05 mm Plano de trabalho: Y-5
34	Pencil faceta Y-5 (Acabamento de cantos pencil)		T17_8x0.5_L45 - Fresa de navalhas	$S = 8000$ rpm $F = 250$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): -0.15 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: Y-5

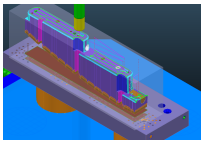
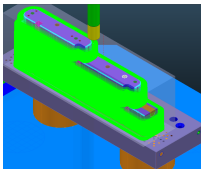
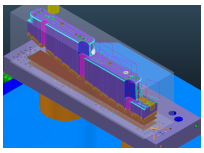
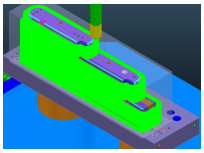
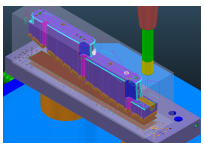
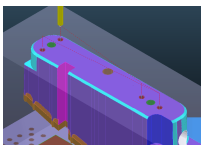
Ordem	Operação	Imagem	Ferramenta	Parâmetros de corte
35	Furação ϕ 11 mm Y-5 (Furação picote simples)		T40_BROCA _D11_L70 - Broca	$S = 2000$ rpm $F = 440$ mm/min Profundidade= 53.4 mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: Y-5
36	Desbaste gravação Y90Z-90 (Desbaste do modelo)		T25_4x1_L30 - Fresa de navalhas	$S = 12000$ rpm $F = 3500$ mm/min $A_p = 0.25$ mm/passagem $A_e = 1.4$ mm Sobremetal(XY): 0.3 mm Sobremetal(Z): 0.3 mm Plano de trabalho: Y90Z-90
37	Pré gravação 4x1 Y90Z-90 (Acabamento Z constante)		T25_4x1_L30 - Fresa de navalhas	$S = 12000$ rpm $F = 3500$ mm/min $A_p = 0.2$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0.15 mm Sobremetal(Z): 0.15 mm Plano de trabalho: Y90Z-90
38	Pré gravação 2x1 Y90Z-90 (Acabamento Z constante)		T30_2ESF_L28 - Fresa esférica	$S = 16000$ rpm $F = 1000$ mm/min $A_p = 0.15$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0.13 mm Sobremetal(Z): 0.13 mm Plano de trabalho: Y90Z-90
39	Acabamento gravação Y90Z-90 (Acabamento 3D offset)		T30_2ESF_L28 - Fresa esférica	$S = 16000$ rpm $F = 1000$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = 0.1$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: Y90Z-90
40	Pencil gravação Y90Z-90 (Acabamento 3D offset)		T30_2ESF_L28 - Fresa esférica	$S = 16000$ rpm $F = 1000$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: Y90Z-90
41	Desbaste gravação Y-90 (Desbaste do modelo)		T25_4x1_L30 - Fresa de navalhas	$S = 12000$ rpm $F = 3500$ mm/min $A_p = 0.2$ mm/passagem $A_e = 1.4$ mm Sobremetal(XY): 0.3 mm Sobremetal(Z): 0.3 mm Plano de trabalho: Y-90

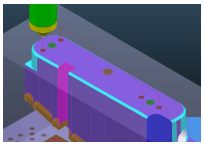
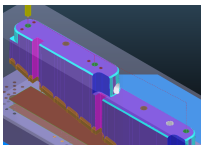
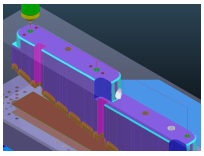
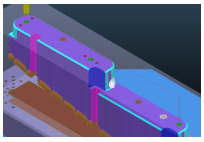
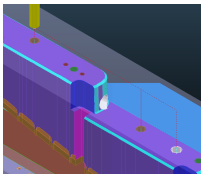
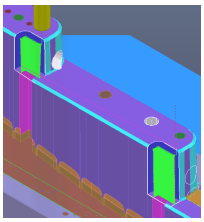
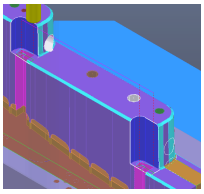
Ordem	Operação	Imagem	Ferramenta	Parâmetros de corte
42	Pré gravação CTZ Y-90 (Acabamento Z constante)		T32_2x0.5_L30 - Fresa de navalhas	$S = 14000$ rpm $F = 1500$ mm/min $A_p = 0.125$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0.25 mm Sobremetal(Z): 0.25 mm Plano de trabalho: Y-90
43	Pré gravação CP Y-90 (Acabamento raster)		T32_2x0.5_L30 - Fresa de navalhas	$S = 14000$ rpm $F = 1500$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = 0.15$ mm Sobremetal(XY): 0.15 mm Sobremetal(Z): 0.15 mm Plano de trabalho: Y-90
44	Acabamento gravação Y-90 (Acabamento 3D offset)		T30_2ESF_L28 - Fresa esférica	$S = 16000$ rpm $F = 1000$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = 0.1$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: Y-90
45	Acabamento gravação Y-90 (Acabamento de cantos pencil)		T30_2ESF_L28 - Fresa esférica	$S = 16000$ rpm $F = 1000$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: Y-90
46	Acabamento redução raios gravação Y-90 (Acabamento 3D offset)		T35_1ESF_L29 - Fresa esférica	$S = 18000$ rpm $F = 500$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = 0.02$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: Y-90

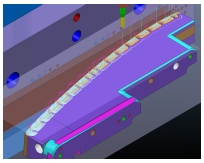
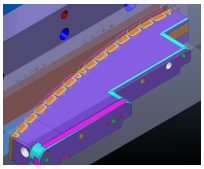
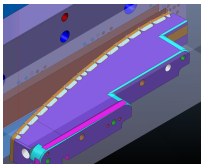
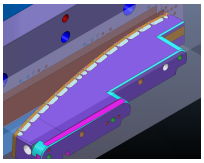
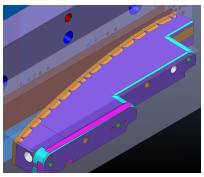
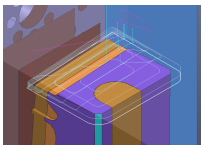
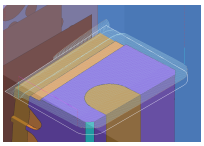
D.6 Palete 230

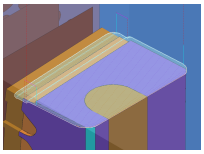
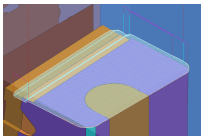
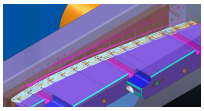
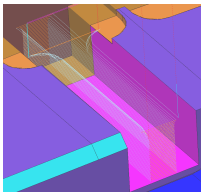
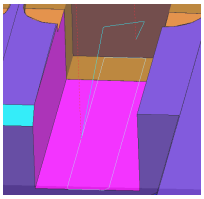
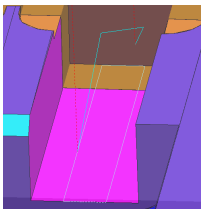
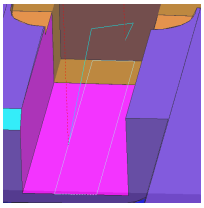
D.6.1 Palete 230 AP1 5P

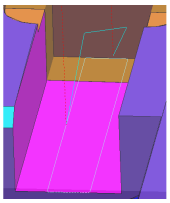
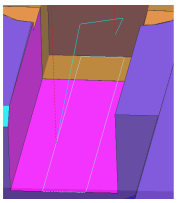
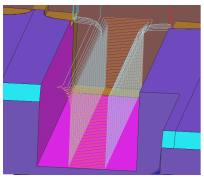
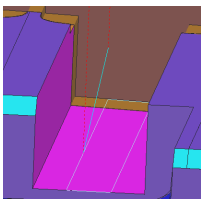
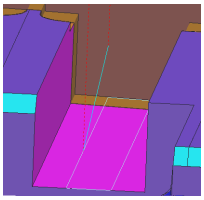
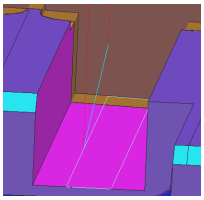
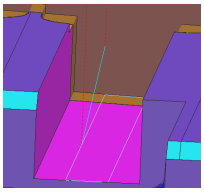
Tabela D.11: Quadro resumo do processo de maquinagem do postiço da cavidade SA7990_200R.

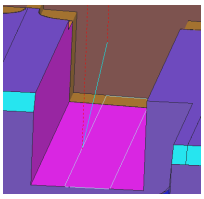
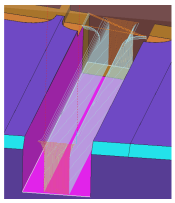
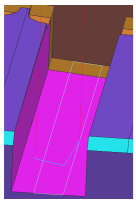
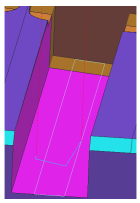
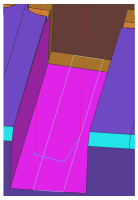
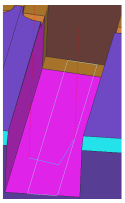
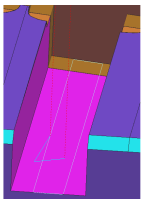
Ordem	Operação	Imagem	Ferramenta	Parâmetros de corte
1	Desbaste de planos (Desbaste de camada)		T4_20X3_L110 - Fresa de pastilhas	$S = 2000$ rpm $F = 6000$ mm/min $A_p = 0.2$ mm/passagem $A_e = 11.2$ mm Sobremetal(XY): 1.5 mm Sobremetal(Z): 0.1 mm Plano de trabalho: DMU60
2	Pré Contorno (Acabamento Z constante)		T4_20X3_L110 - Fresa de pastilhas	$S = 2000$ rpm $F = 6000$ mm/min $A_p = 0.35$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0.15 mm Sobremetal(Z): 0.06 mm Plano de trabalho: DMU60
3	Pré Planos (Desbaste de camada)		T4_20X3_L110 - Fresa de pastilhas	$S = 2000$ rpm $F = 2000$ mm/min $A_p = 0.15$ mm/passagem $A_e = 11.2$ mm Sobremetal(XY): 0.2 mm Sobremetal(Z): 0.1 mm Plano de trabalho: DMU60
4	Acabamento contorno (Acabamento Z constante)		T6_20X2_L100 _ACAB - Fresa de pastilhas	$S = 5500$ rpm $F = 3500$ mm/min $A_p = 0.23$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0.06 mm Plano de trabalho: DMU60
5	Acabamento Planos (Desbaste de camada)		T6_20X2_L100 _ACAB - Fresa de pastilhas	$S = 3000$ rpm $F = 700$ mm/min $A_p = 0.1$ mm/passagem $A_e = 11.2$ mm Sobremetal(XY): 0.05 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: DMU60
6	Furação ϕ 4 mm (Furação picote simples)		T55_BROCA _D4H7_L33 - Broca	$S = 5570$ rpm $F = 525$ mm/min Profundidade= 10 mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: DMU60

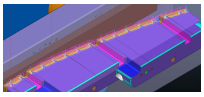
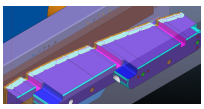
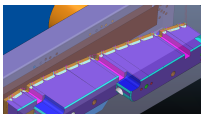
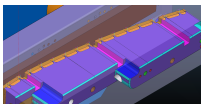
Ordem	Operação	Imagem	Ferramenta	Parâmetros de corte
7	Escarear furo cavilha ϕ 4 mm (Furação picote simples)		T58_ESCAR_D20_L75 - Escareardor	$S = 2000$ rpm $F = 500$ mm/min Profundidade= 2.4 mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: DMU60
8	Furação M8 (Furação picote simples)		T50_BROCA_D6.8_L73 - Broca	$S = 3277$ rpm $F = 490$ mm/min Profundidade= $--$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: DMU60
9	Escarear furo M8 (Furação picote simples)		T58_ESCAR_D20_L75 - Escareardor	$S = 2000$ rpm $F = 500$ mm/min Profundidade= 4 mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: DMU60
10	Roscar furo M8 (Fresagem de rosca)		T103_ROSCAR_M8_L32 - Fresa de roscar	$S = 3000$ rpm $F = 340$ mm/min Profundidade= 12 mm Passo= 1.25 mm Sobremetal(XY): -0.635 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: DMU60
11	Furação ϕ 8 mm (Furação picote simples)		T46_BROCA_D8_L63 - Broca	$S = 2785$ rpm $F = 550$ mm/min Profundidade= $--$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: DMU60
12	Acabamento redução de raios (Acabamento Z constante)		T13_10x1_L47 - Fresa de navalhas	$S = 7000$ rpm $F = 4000$ mm/min $A_p = 0.2$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: DMU60
13	Acabamento planos redução de raios (Desbaste de camada)		T13_10x1_L47 - Fresa de navalhas	$S = 7000$ rpm $F = 600$ mm/min $A_p = 0.1$ mm/passagem $A_e = 5.6$ mm Sobremetal(XY): 0.05 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: DMU60

Ordem	Operação	Imagem	Ferramenta	Parâmetros de corte
14	Desbaste gravação Y90 (Desbaste do modelo)		T25_4x1_L30 - Fresa de navalhas	$S = 12000$ rpm $F = 3500$ mm/min $A_p = 0.2$ mm/passagem $A_e = 1.4$ mm Sobremetal(XY): 0.3 mm Sobremetal(Z): 0.3 mm Plano de trabalho: Y90
15	Pré gravação CTZ Y90 (Acabamento Z constante)		T32_2x0.5_L30 - Fresa de navalhas	$S = 14000$ rpm $F = 3000$ mm/min $A_p = 0.15$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0.25 mm Sobremetal(Z): 0.25 mm Plano de trabalho: Y90
16	Pré gravação CP Y90 (Acabamento raster)		T32_2x0.5_L30 - Fresa de navalhas	$S = 14000$ rpm $F = 3000$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = 0.15$ mm Sobremetal(XY): 0.15 mm Sobremetal(Z): 0.15 mm Plano de trabalho: Y90
17	Acabamento gravação Y90 (Acabamento raster)		T32_2x0.5_L30 - Fresa de navalhas	$S = 14000$ rpm $F = 3000$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = 0.11$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: Y90
18	Pencil gravação Y90 (Acabamento de cantos pencil)		T32_2x0.5_L30 - Fresa de navalhas	$S = 14000$ rpm $F = 600$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: Y90
19	Desbaste gravação Y90Z-90 (Desbaste do modelo)		T13_10x1_L47 - Fresa de navalhas	$S = 7000$ rpm $F = 4000$ mm/min $A_p = 0.3$ mm/passagem $A_e = 5.6$ mm Sobremetal(XY): 0.3 mm Sobremetal(Z): 0.3 mm Plano de trabalho: Y90Z-90
20	Pré gravação CP Y90Z-90 (1) (Acabamento raster)		T13_10x1_L47 - Fresa de navalhas	$S = 7000$ rpm $F = 4000$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = 0.2$ mm Sobremetal(XY): 0.25 mm Sobremetal(Z): 0.25 mm Plano de trabalho: Y90Z-90

Ordem	Operação	Imagem	Ferramenta	Parâmetros de corte
21	Pré gravação CP Y90Z-90 (2) (Acabamento raster)		T25_4x1_L30 - Fresa de navalhas	$S = 12000$ rpm $F = 35000$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = 0.15$ mm Sobremetal(XY): 0.15 mm Sobremetal(Z): 0.15 mm Plano de trabalho: Y90Z-90
22	Acabamento gravação Y90Z-90 (Acabamento raster)		T27_4x0.5_L31 - Fresa de navalhas	$S = 12000$ rpm $F = 2000$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = 0.125$ mm Sobremetal(XY): 0.05 mm Sobremetal(Z): 0.05 mm Plano de trabalho: Y90Z-90
23	Desbaste gravação Y90Z180 (Desbaste do modelo)		T19_6x1_L30 - Fresa de navalhas	$S = 9000$ rpm $F = 2500$ mm/min $A_p = 0.2$ mm/passagem $A_e = 2.8$ mm Sobremetal(XY): 0.2 mm Sobremetal(Z): 0.2 mm Plano de trabalho: Y90Z180
24	Pré extração Y90Z180 (Acabamento Z constante)		T19_6x1_L30 - Fresa de navalhas	$S = 9000$ rpm $F = 2500$ mm/min $A_p = 0.2$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0.2 mm Sobremetal(Z): 0.08 mm Plano de trabalho: Y90Z180
25	Acabamento extração Y90Z180 (Desbaste de camada)		T76_D6_FRK _ACAB_L30 - Fresa de navalhas	$S = 10000$ rpm $F = 500$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = 3.5$ mm Sobremetal(XY): 0.02 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: Y90Z180
(25.1)	Acabamento extração Y90Z180 (Desbaste de camada)		T76_D6_FRK _ACAB_L30 - Fresa de navalhas	$S = 10000$ rpm $F = 500$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = 3.5$ mm Sobremetal(XY): 0.01 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: Y90Z180
(25.2)	Acabamento extração Y90Z180 (Desbaste de camada)		T76_D6_FRK _ACAB_L30 - Fresa de navalhas	$S = 10000$ rpm $F = 500$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = 3.5$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: Y90Z180

Ordem	Operação	Imagem	Ferramenta	Parâmetros de corte
(25.3)	Acabamento extração Y90Z180 (Desbaste de camada)		T76_D6_FRK _ACAB_L30 - Fresa de navalhas	$S = 10000$ rpm $F = 500$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = 3.5$ mm Sobremetal(XY): -0.01 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: Y90Z180
(25.4)	Acabamento extração Y90Z180 (Desbaste de camada)		T76_D6_FRK _ACAB_L30 - Fresa de navalhas	$S = 10000$ rpm $F = 500$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = 3.5$ mm Sobremetal(XY): -0.02 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: Y90Z180
26	Pré extração Y90Z179.45 (Acabamento Z constante)		T19_6x1_L30 - Fresa de navalhas	$S = 9000$ rpm $F = 2500$ mm/min $A_p = 0.2$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0.2 mm Sobremetal(Z): 0.08 mm Plano de trabalho: Y90Z179.45
27	Acabamento extração Y90Z179.45 (Desbaste de camada)		T76_D6_FRK _ACAB_L30 - Fresa de navalhas	$S = 10000$ rpm $F = 500$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = 3.5$ mm Sobremetal(XY): 0.02 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: Y90Z179.45
(27.1)	Acabamento extração Y90Z179.45 (Desbaste de camada)		T76_D6_FRK _ACAB_L30 - Fresa de navalhas	$S = 10000$ rpm $F = 500$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = 3.5$ mm Sobremetal(XY): 0.01 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: Y90Z179.45
(27.2)	Acabamento extração Y90Z179.45 (Desbaste de camada)		T76_D6_FRK _ACAB_L30 - Fresa de navalhas	$S = 10000$ rpm $F = 500$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = 3.5$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: Y90Z179.45
(27.3)	Acabamento extração Y90Z179.45 (Desbaste de camada)		T76_D6_FRK _ACAB_L30 - Fresa de navalhas	$S = 10000$ rpm $F = 500$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = 3.5$ mm Sobremetal(XY): -0.01 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: Y90Z179.45

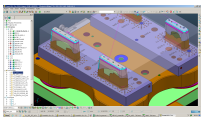
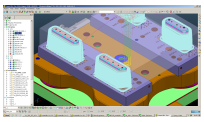
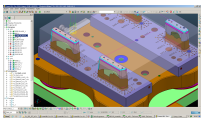
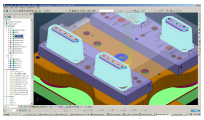
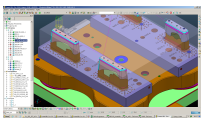
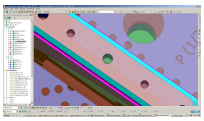
Ordem	Operação	Imagem	Ferramenta	Parâmetros de corte
(27.4)	Acabamento extração Y90Z179.45 (Desbaste de camada)		T76_D6_FRK _ACAB_L30 - Fresa de navalhas	$S = 10000$ rpm $F = 500$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = 3.5$ mm Sobremetal(XY): -0.02 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: Y90Z179.45
28	Pré extração Y90Z179.25 (Acabamento Z constante)		T19_6x1_L30 - Fresa de navalhas	$S = 9000$ rpm $F = 2500$ mm/min $A_p = 0.2$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0.2 mm Sobremetal(Z): 0.08 mm Plano de trabalho: Y90Z179.25
29	Acabamento extração Y90Z179.25 (Desbaste de camada)		T76_D6_FRK _ACAB_L30 - Fresa de navalhas	$S = 10000$ rpm $F = 500$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = 3.5$ mm Sobremetal(XY): 0.02 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: Y90Z179.25
(29.1)	Acabamento extração Y90Z179.25 (Desbaste de camada)		T76_D6_FRK _ACAB_L30 - Fresa de navalhas	$S = 10000$ rpm $F = 500$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = 3.5$ mm Sobremetal(XY): 0.01 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: Y90Z179.25
(29.2)	Acabamento extração Y90Z179.25 (Desbaste de camada)		T76_D6_FRK _ACAB_L30 - Fresa de navalhas	$S = 10000$ rpm $F = 500$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = 3.5$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: Y90Z179.25
(29.3)	Acabamento extração Y90Z179.25 (Desbaste de camada)		T76_D6_FRK _ACAB_L30 - Fresa de navalhas	$S = 10000$ rpm $F = 500$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = 3.5$ mm Sobremetal(XY): -0.01 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: Y90Z179.25
(29.4)	Acabamento extração Y90Z179.25 (Desbaste de camada)		T76_D6_FRK _ACAB_L30 - Fresa de navalhas	$S = 10000$ rpm $F = 500$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = 3.5$ mm Sobremetal(XY): -0.02 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: Y90Z179.25

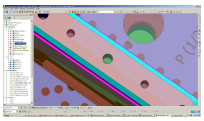
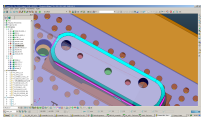
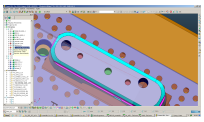
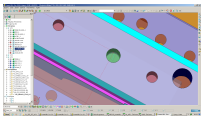
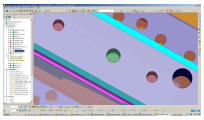
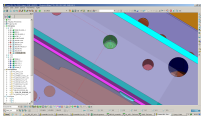
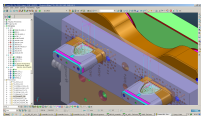
Ordem	Operação	Imagem	Ferramenta	Parâmetros de corte
30	Pré gravação CTZ X180Y85 (Acabamento Z contante)		T30_2ESF_L28 - Fresa esférica	$S = 16000$ rpm $F = 1000$ mm/min $A_p = 0.125$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0.18 mm Sobremetal(Z): 0.18 mm Plano de trabalho: X180Y85
31	Pré gravação CP X180Y85 (Acabamento raster)		T30_2ESF_L28 - Fresa esférica	$S = 16000$ rpm $F = 1000$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = 0.15$ mm Sobremetal(XY): 0.125 mm Sobremetal(Z): 0.125 mm Plano de trabalho: X180Y85
31	Acabamento gravação X180Y85 (Acabamento raster)		T32_2x0.5_L30 - Fresa de navalhas	$S = 14000$ rpm $F = 1500$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = 0.11$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: X180Y85
32	Pencil gravação X180Y85 (Acabamento de cantos pencil)		T32_2x0.5_L30 - Fresa de navalhas	$S = 14000$ rpm $F = 600$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: X180Y85

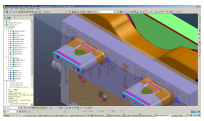
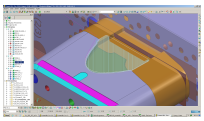
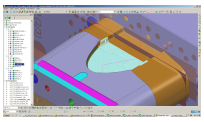
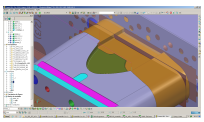
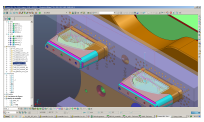
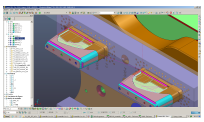
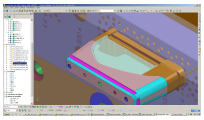
D.7 Palete 355_357

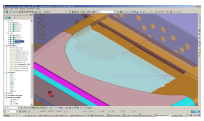
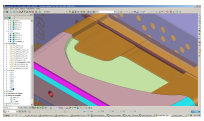
D.7.1 Palete 355_357 AP1 5P

Tabela D.12: Quadro resumo do processo de maquinagem dos postiços SA7994_100A, SA7994_100B, SA7995_100B e SA7995_102B - primeiro aperto - 5 eixos posicionais.

Ordem	Operação	Imagem	Ferramenta	Parâmetros de corte
1	Desbaste de planos (Desbaste de camada)		T4_20X3_L110 - Fresa de pastilhas	$S = 2000$ rpm $F = 6000$ mm/min $A_p = 0.2$ mm/passagem $A_e = 11.2$ mm Sobremetal(XY): 1.5 mm Sobremetal(Z): 0.1 mm Plano de trabalho: DMU60
2	Pré contorno (Acabamento Z constante)		T4_20X3_L110 - Fresa de pastilhas	$S = 2000$ rpm $F = 6000$ mm/min $A_p = 0.3$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0.15 mm Sobremetal(Z): 0.15 mm Plano de trabalho: DMU60
3	Pré planos (Desbaste de camada)		T4_20X3_L110 - Fresa de pastilhas	$S = 2000$ rpm $F = 2000$ mm/min $A_p = 0.15$ mm/passagem $A_e = 11.2$ mm Sobremetal(XY): 0.2 mm Sobremetal(Z): 0.1 mm Plano de trabalho: DMU60
4	Acabamento contorno (Acabamento Z constante)		T6_20X2_L100 _ACAB - Fresa de pastilhas	$S = 5500$ rpm $F = 3500$ mm/min $A_p = 0.21$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0.06 mm Plano de trabalho: DMU60
5	Acabamento planos (Desbaste de camada)		T6_20X2_L100 _ACAB - Fresa de pastilhas	$S = 3000$ rpm $F = 700$ mm/min $A_p = 0.1$ mm/passagem $A_e = 8.8$ mm Sobremetal(XY): 0.05 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: DMU60
6	Furação ϕ 4 mm (Furação picote simples)		T55_BROCA _D4H7_L33 - Broca	$S = 5570$ rpm $F = 525$ mm/min Profundidade= 10 mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: DMU60

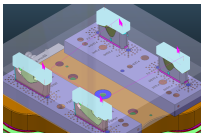
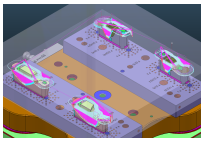
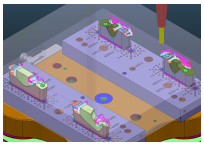
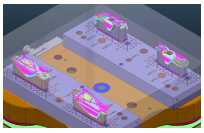
Ordem	Operação	Imagem	Ferramenta	Parâmetros de corte
7	Escarear furo ϕ 4 mm (Furação picote simples)		T58_ESCAR_D20_L75 - Escareardor	$S = 2000$ rpm $F = 500$ mm/min Profundidade= 2.4 mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: DMU60
8	Furação ϕ 7 mm (Furação picote simples)		T49_BROCA_D7_L100 - Broca	$S = 3183$ rpm $F = 350$ mm/min Profundidade= 35 mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: DMU60
9	Escarear furo ϕ 7 mm (Furação picote simples)		T58_ESCAR_D20_L75 - Escareardor	$S = 2000$ rpm $F = 500$ mm/min Profundidade= 4.5 mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: DMU60
10	Furação M5 (Furação picote simples)		T54_BROCA_D4.3_L60 - Broca	$S = 5570$ rpm $F = 525$ mm/min Profundidade= 13 mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: DMU60
11	Escarear furo M5 (Furação picote simples)		T58_ESCAR_D20_L75 - Escareardor	$S = 2000$ rpm $F = 500$ mm/min Profundidade= 2.4 mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: DMU60
12	Roscar furo M5 (Furação picote simples)		T101_ROSCAR_M5 - Fresa de roscar	$S = 4250$ rpm $F = 340$ mm/min Profundidade= 8 mm Passo= 0.8 mm Sobremetal(XY): -0.415 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: DMU60
13	Desbaste gravação Y90 (Desbaste do modelo)		T19_6x1_L30 - Fresa de navalhas	$S = 9000$ rpm $F = 2500$ mm/min $A_p = 0.25$ mm/passagem $A_e = 2.8$ mm Sobremetal(XY): 0.3 mm Sobremetal(Z): 0.3 mm Plano de trabalho: Y90

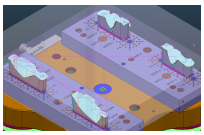
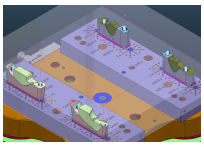
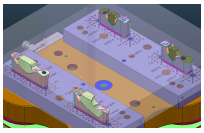
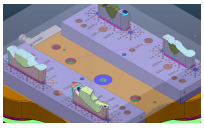
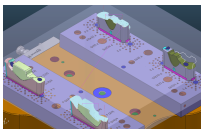
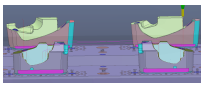
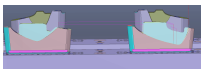
Ordem	Operação	Imagem	Ferramenta	Parâmetros de corte
14	Pré gravação CTZ Y90 (Acabamento Z constante)		T32_2x0.5_L30 - Fresa de navalhas	$S = 14000$ rpm $F = 1400$ mm/min $A_p = 0.11$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0.25 mm Sobremetal(Z): 0.25 mm Plano de trabalho: Y90
15	Pré gravação CP Y90 (Acabamento raster)		T32_2x0.5_L30 - Fresa de navalhas	$S = 14000$ rpm $F = 1400$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = 0.13$ mm Sobremetal(XY): 0.15 mm Sobremetal(Z): 0.15 mm Plano de trabalho: Y90
16	Acabamento gravação CP Y90 (Acabamento raster)		T32_2x0.5_L30 - Fresa de navalhas	$S = 14000$ rpm $F = 1400$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = 0.12$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: Y90
17	Pencil gravação Y90 (Acabamento de cantos pencil)		T32_2x0.5_L30 - Fresa de navalhas	$S = 14000$ rpm $F = 400$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: Y90
18	Desbaste gravação Y-90 (Desbaste do modelo)		T19_6x1_L30 - Fresa de navalhas	$S = 9000$ rpm $F = 2500$ mm/min $A_p = 0.25$ mm/passagem $A_e = 2.8$ mm Sobremetal(XY): 0.3 mm Sobremetal(Z): 0.3 mm Plano de trabalho: Y-90
19	Pre gravação CTZ Y-90 (Acabamento Z constante)		T32_2x0.5_L30 - Fresa de navalhas	$S = 14000$ rpm $F = 1400$ mm/min $A_p = 0.12$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0.25 mm Sobremetal(Z): 0.25 mm Plano de trabalho: Y-90
20	Pre gravação CP Y-90 (Acabamento raster)		T32_2x0.5_L30 - Fresa de navalhas	$S = 14000$ rpm $F = 1400$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = 0.15$ mm Sobremetal(XY): 0.15 mm Sobremetal(Z): 0.15 mm Plano de trabalho: Y-90

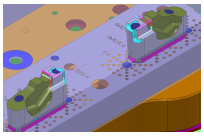
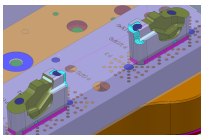
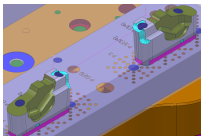
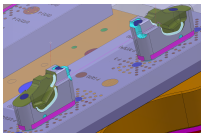
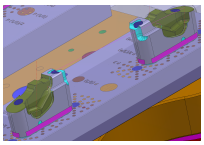
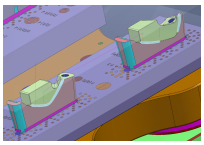
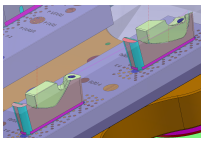
Ordem	Operação	Imagem	Ferramenta	Parâmetros de corte
21	Acabamento gravação CP Y-90 (Acabamento raster)		T32_2x0.5_L30 - Fresa de navalhas	$S = 14000$ rpm $F = 1400$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = 0.12$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: Y-90
22	Pencil gravação Y-90 (Acabamento de cantos pencil)		T32_2x0.5_L30 - Fresa de navalhas	$S = 14000$ rpm $F = 400$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: Y-90

D.7.2 Palete 355_357 AP2 5P

Tabela D.13: Quadro resumo do processo de maquinagem dos postiços SA7994_100A, SA7994_100B, SA7995_100B e SA7995_102B - segundo aperto - 5 eixos posicionais.

Ordem	Operação	Imagem	Ferramenta	Parâmetros de corte
1	Desbaste de planos (Desbaste do modelo)		T7_20x2_L29 - Fresa de pastilhas	$S = 2200$ rpm $F = 5000$ mm/min $A_p = 0.2$ mm/passagem $A_e = 9$ mm Sobremetal(XY): 0.3 mm Sobremetal(Z): 0.3 mm Plano de trabalho: DMU60
2	Pré 10x1 (Acabamento Z Constante)		T7_20x2_L29 - Fresa de pastilhas	$S = 2200$ rpm $F = 5000$ mm/min $A_p = 0.25$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0.25 mm Sobremetal(Z): 0.25 mm Plano de trabalho: DMU60
3	Redução 10x1 (Acabamento Z Constante)		T13_10x1_L47 - Fresa de navalhas	$S = 7000$ rpm $F = 3500$ mm/min $A_p = 0.22$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0.25 mm Sobremetal(Z): 0.25 mm Plano de trabalho: DMU60
4	Pré 6x1 (Acabamento Z Constante)		T19_6x1_L30 - Fresa de navalhas	$S = 9000$ rpm $F = 2500$ mm/min $A_p = 0.2$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0.2 mm Sobremetal(Z): 0.2 mm Plano de trabalho: DMU60

Ordem	Operação	Imagem	Ferramenta	Parâmetros de corte
5	Pré Copia 6x1 (Acabamento Raster)		T19_6x1_L30 - Fresa de navalhas	$S = 9000$ rpm $F = 2500$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = 0.27$ mm Sobremetal(XY): 0.2 mm Sobremetal(Z): 0.2 mm Plano de trabalho: DMU60
6	Furação (Furação helicoidal)		T19_6x1_L30 - Fresa de navalhas	$S = 9000$ rpm $F = 2500$ mm/min Passo= 0.15 mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: DMU60
7	Redução Z Pre 4x1 (Acabamento Z Constante)		T25_4x1_L30 - Fresa de navalhas	$S = 12000$ rpm $F = 2500$ mm/min $A_p = 0.2$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0.2 mm Sobremetal(Z): 0.2 mm Plano de trabalho: DMU60
8	Acabamento (Acabamento Raster)		T23_4ESF_L31 - Fresa esférica	$S = 12000$ rpm $F = 1500$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = 0.14$ mm Sobremetal(XY): 0.02 mm Sobremetal(Z): 0.02 mm Plano de trabalho: DMU60
9	Acabamento 1 (Acabamento Raster)		T23_4ESF_L31 - Fresa esférica	$S = 12000$ rpm $F = 1500$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = 0.14$ mm Sobremetal(XY): 0.02 mm Sobremetal(Z): 0.02 mm Plano de trabalho: DMU60
10	Acabamento 2 (Acabamento Raster)		T23_4ESF_L31 - Fresa esférica	$S = 12000$ rpm $F = 1500$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = 0.14$ mm Sobremetal(XY): 0.02 mm Sobremetal(Z): 0.02 mm Plano de trabalho: Y15
11	Acabamento 3 (Acabamento Raster)		T23_4ESF_L31 - Fresa esférica	$S = 12000$ rpm $F = 1500$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = 0.14$ mm Sobremetal(XY): 0.02 mm Sobremetal(Z): 0.02 mm Plano de trabalho: Y-15

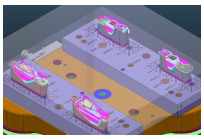
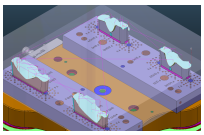
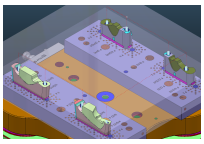
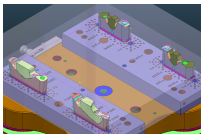
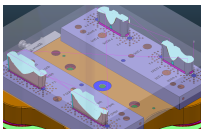
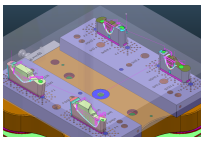
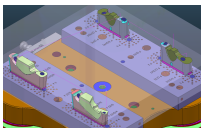
Ordem	Operação	Imagem	Ferramenta	Parâmetros de corte
12	Redução Z Acabamento Pré (Acabamento Z Constante)		T30_2ESF_L28 - Fresa esférica	$S = 12000$ rpm $F = 1500$ mm/min $A_p = 0.1$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0.1 mm Sobremetal(Z): 0.1 mm Plano de trabalho: DMU60
13	Redução Z Acabamento (Acabamento 3D offset)		T30_2ESF_L28 - Fresa esférica	$S = 16000$ rpm $F = 1000$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = 0.09$ mm Sobremetal(XY): 0.03 mm Sobremetal(Z): 0.03 mm Plano de trabalho: DMU60
14	Pencil (Acabamento de cantos pencil)		T30_2ESF_L28 - Fresa esférica	$S = 16000$ rpm $F = 1000$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0.02 mm Sobremetal(Z): 0.02 mm Plano de trabalho: DMU60
15	Redução Z Acabamento 1 (Acabamento 3D offset)		T30_2ESF_L28 - Fresa esférica	$S = 16000$ rpm $F = 1000$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = 0.09$ mm Sobremetal(XY): 0.02 mm Sobremetal(Z): 0.02 mm Plano de trabalho: Y15
16	Pencil 1 (Acabamento de cantos pencil)		T30_2ESF_L28 - Fresa esférica	$S = 16000$ rpm $F = 1000$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0.02 mm Sobremetal(Z): 0.02 mm Plano de trabalho: Y15
17	Redução Z Acabamento 2 (Acabamento 3D offset)		T30_2ESF_L28 - Fresa esférica	$S = 16000$ rpm $F = 1000$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = 0.09$ mm Sobremetal(XY): 0.02 mm Sobremetal(Z): 0.02 mm Plano de trabalho: Y-15
18	Pencil 2 (Acabamento de cantos pencil)		T30_2ESF_L28 - Fresa esférica	$S = 16000$ rpm $F = 1000$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0.02 mm Sobremetal(Z): 0.02 mm Plano de trabalho: Y-15

Ordem	Operação	Imagem	Ferramenta	Parâmetros de corte
19	Redução Z Acabamento Pré 1 (Acabamento Z Constante)		T30_2ESF_L28 - Fresa esférica	$S = 16000$ rpm $F = 1000$ mm/min $A_p = 0.1$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0.1 mm Sobremetal(Z): 0.1 mm Plano de trabalho: X-15
20	Redução Z Acabamento 3 (Acabamento 3D offset)		T30_2ESF_L28 - Fresa esférica	$S = 16000$ rpm $F = 1000$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = 0.09$ mm Sobremetal(XY): 0.02 mm Sobremetal(Z): 0.02 mm Plano de trabalho: X-15
21	Pencil 3 (Acabamento de cantos pencil)		T30_2ESF_L28 - Fresa esférica	$S = 16000$ rpm $F = 1000$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0.02 mm Sobremetal(Z): 0.02 mm Plano de trabalho: X-15

D.7.3 Palete 355_357 AP2 5C

Tabela D.14: Quadro resumo do processo de maquinagem dos postiços SA7994_100A, SA7994_100B, SA7995_100B e SA7995_102B - segundo aperto - 5 eixos contínuos.

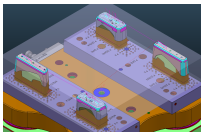
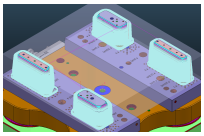
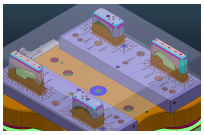
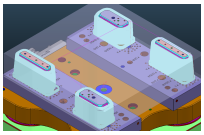
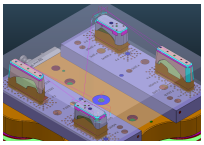
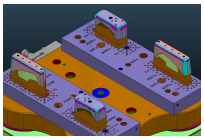
Ordem	Operação	Imagem	Ferramenta	Parâmetros de corte
1	Desbaste de planos (Desbaste do modelo)		T7_20x2_L29 - Fresa de pastilhas	$S = 2200$ rpm $F = 5000$ mm/min $A_p = 0.2$ mm/passagem $A_e = 9$ mm Sobremetal(XY): 0.3 mm Sobremetal(Z): 0.3 mm Plano de trabalho: DMU60
2	Pre 20x2 (Acabamento Z Constante)		T7_20x2_L29 - Fresa de pastilhas	$S = 2200$ rpm $F = 5000$ mm/min $A_p = 0.25$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0.25 mm Sobremetal(Z): 0.25 mm Plano de trabalho: DMU60
3	Redução 10x1 (Acabamento Z Constante)		T13_10x1_L47 - Fresa de navalhas	$S = 7000$ rpm $F = 3500$ mm/min $A_p = 0.22$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0.25 mm Sobremetal(Z): 0.25 mm Plano de trabalho: DMU60

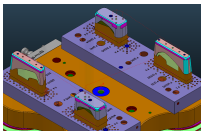
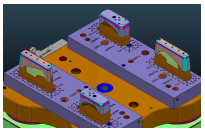
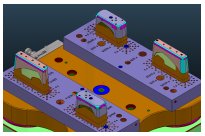
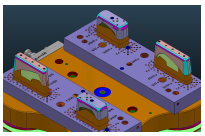
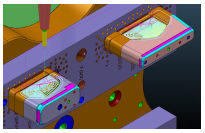
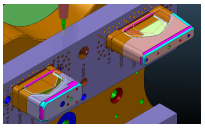
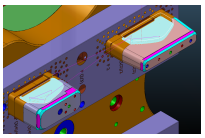
Ordem	Operação	Imagem	Ferramenta	Parâmetros de corte
4	Pré 6x1 (Acabamento Z Constante)		T19_6x1_L30 - Fresa de navalhas	$S = 9000$ rpm $F = 2500$ mm/min $A_p = 0.2$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0.2 mm Sobremetal(Z): 0.2 mm Plano de trabalho: DMU60
5	Pré Copia 6x1 (Acabamento Raster)		T19_6x1_L30 - Fresa de navalhas	$S = 9000$ rpm $F = 2500$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = 0.27$ mm Sobremetal(XY): 0.2 mm Sobremetal(Z): 0.2 mm Plano de trabalho: DMU60
6	Furação (Furação helicoidal)		T19_6x1_L30 - Fresa de navalhas	$S = 9000$ rpm $F = 2500$ mm/min Passo= 0.15 mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: DMU60
7	Redução Z Pré 4x1 (Acabamento Z Constante)		T25_4x1_L30 - Fresa de navalhas	$S = 12000$ rpm $F = 2500$ mm/min $A_p = 0.2$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0.2 mm Sobremetal(Z): 0.2 mm Plano de trabalho: DMU60
8	Acabamento (Acabamento Raster)		T23_4ESF_L31 - Fresa esférica	$S = 12000$ rpm $F = 2500$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = 0.14$ mm Sobremetal(XY): 0.05 mm Sobremetal(Z): 0.05 mm Plano de trabalho: DMU60
9	Redução Raios Acabamento (Acabamento 3D offset)		T30_2ESF_L28 - Fresa esférica	$S = 16000$ rpm $F = 1000$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = 0.09$ mm Sobremetal(XY): 0.02 mm Sobremetal(Z): 0.02 mm Plano de trabalho: DMU60
10	Pencil (Acabamento Raster)		T30_2ESF_L28 - Fresa esférica	$S = 16000$ rpm $F = 1000$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0.02 mm Sobremetal(Z): 0.02 mm Plano de trabalho: DMU60

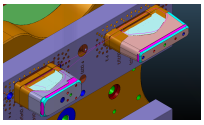
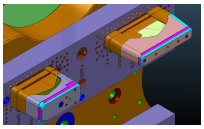
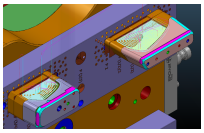
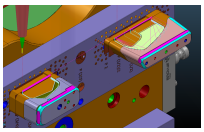
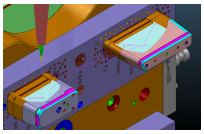
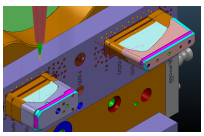
D.8 Palete 356_359

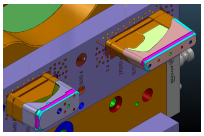
D.8.1 Palete 356_359 AP1 5P

Tabela D.15: Quadro resumo do processo de maquinagem dos postiços SA7994_102A, SA7994_102B, SA7995_100A e SA7995_102A - primeiro aperto - 5 eixos posicionais.

Ordem	Operação	Imagem	Ferramenta	Parâmetros de corte
1	Desbaste de planos (Desbaste de camada)		T4_20X3_L110 - Fresa de pastilhas	$S = 2000$ rpm $F = 6000$ mm/min $A_p = 0.2$ mm/passagem $A_e = 11.2$ mm Sobremetal(XY): 1.5 mm Sobremetal(Z): 0.1 mm Plano de trabalho: DMU60
2	Pre Contorno (Acabamento Z constante)		T4_20X3_L110 - Fresa de pastilhas	$S = 2000$ rpm $F = 6000$ mm/min $A_p = 0.3$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0.15 mm Sobremetal(Z): 0.15 mm Plano de trabalho: DMU60
3	Pre Planos (Desbaste de camada)		T4_20X3_L110 - Fresa de pastilhas	$S = 2000$ rpm $F = 2000$ mm/min $A_p = 0.15$ mm/passagem $A_e = 11.2$ mm Sobremetal(XY): 0.2 mm Sobremetal(Z): 0.05 mm Plano de trabalho: DMU60
4	Pre Planos (Acabamento Z constante)		T6_20X2_L100 _ACAB - Fresa de pastilhas	$S = 5500$ rpm $F = 3500$ mm/min $A_p = 0.21$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0.06 mm Plano de trabalho: DMU60
5	Acabamentos Planos (Desbaste de camada)		T6_20X2_L100 _ACAB - Fresa de pastilhas	$S = 3000$ rpm $F = 700$ mm/min $A_p = 0.1$ mm/passagem $A_e = 9$ mm Sobremetal(XY): 0.05 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: DMU60
6	Furar cavilhas ϕ 4 mm (Furação picote simples)		T55_BROCA _D4H7_L33 - Broca	$S = 5570$ rpm $F = 525$ mm/min Profundidade = 10 mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: DMU60

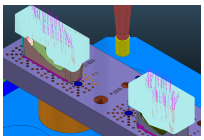
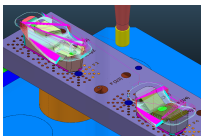
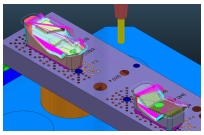
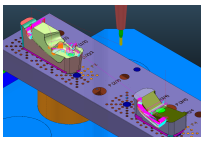
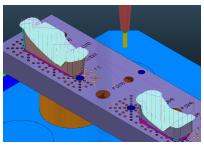
Ordem	Operação	Imagem	Ferramenta	Parâmetros de corte
7	Escarear cavilhas ϕ 4 mm (Furação picote simples)		T58_ESCAR _D20_L75 - Escareador	$S = 2000$ rpm $F = 500$ mm/min Profundidade= 2.4 mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: DMU60
8	Furar M5 (Furação picote simples)		T54_BROCA _D4.3_L60 - Broca	$S = 5182$ rpm $F = 518$ mm/min Profundidade= 13 mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: DMU60
9	Escarear furo M5 (Furação picote simples)		T58_ESCAR _D20_L75 - Escareador	$S = 2000$ rpm $F = 500$ mm/min Profundidade= 2.4 mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: DMU60
10	Roscar furo M5 (Furação picote simples)		T101_ROSCAR _M5 - Fresa de roscar	$S = 4250$ rpm $F = 340$ mm/min Profundidade= 8 mm Passo= 0.8 mm Sobremetal(XY): -0.415 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: DMU60
11	Desbaste gravação Y90 (Desbaste do modelo)		T19_6x1_L30 - Fresa de navalhas	$S = 9000$ rpm $F = 2500$ mm/min $A_p = 0.25$ mm/passagem $A_e = 2.8$ mm Sobremetal(XY): 0.3 mm Sobremetal(Z): 0.3 mm Plano de trabalho: Y90
12	Pré gravação CTZ Y90 (Acabamento Z constante)		T32_2x0.5_L30 - Fresa de navalhas	$S = 14000$ rpm $F = 1400$ mm/min $A_p = 0.12$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0.25 mm Sobremetal(Z): 0.25 mm Plano de trabalho: Y90
13	Pré gravação CP Y90 (Acabamento raster)		T32_2x0.5_L30 - Fresa de navalhas	$S = 14000$ rpm $F = 1400$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = 0.15$ mm Sobremetal(XY): 0.15 mm Sobremetal(Z): 0.15 mm Plano de trabalho: Y90

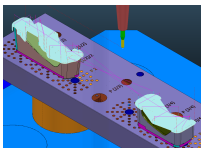
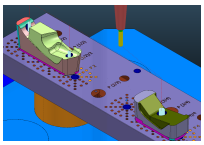
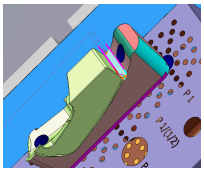
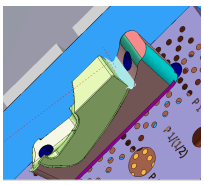
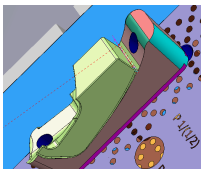
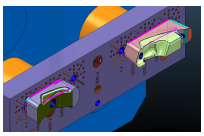
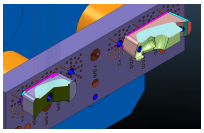
Ordem	Operação	Imagem	Ferramenta	Parâmetros de corte
14	Acabamento gravação CP Y90 (Acabamento raster)		T32_2x0.5_L30 - Fresa de navalhas	$S = 14000$ rpm $F = 1400$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = 0.12$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: Y90
15	Pencil gravação Y90 (Acabamento de cantos pencil)		T32_2x0.5_L30 - Fresa de navalhas	$S = 14000$ rpm $F = 400$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: Y90
16	Desbaste gravação Y-90 (Desbaste do modelo)		T19_6x1_L30 - Fresa de navalhas	$S = 9000$ rpm $F = 2500$ mm/min $A_p = 0.25$ mm/passagem $A_e = 2.8$ mm Sobremetal(XY): 0.3 mm Sobremetal(Z): 0.3 mm Plano de trabalho: Y-90
17	Pré gravação CTZ Y-90 (Acabamento Z constante)		T32_2x0.5_L30 - Fresa de navalhas	$S = 14000$ rpm $F = 1400$ mm/min $A_p = 0.12$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0.25 mm Sobremetal(Z): 0.25 mm Plano de trabalho: Y-90
18	Pré gravação CP Y-90 (Acabamento raster)		T32_2x0.5_L30 - Fresa de navalhas	$S = 14000$ rpm $F = 1400$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = 0.15$ mm Sobremetal(XY): 0.15 mm Sobremetal(Z): 0.15 mm Plano de trabalho: Y-90
19	Acabamento gravação CP Y-90 (Acabamento raster)		T32_2x0.5_L30 - Fresa de navalhas	$S = 14000$ rpm $F = 1400$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = 0.12$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: Y-90

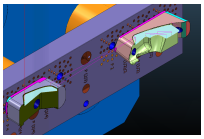
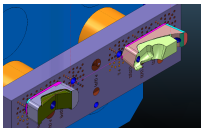
Ordem	Operação	Imagem	Ferramenta	Parâmetros de corte
20	Pencil gravação Y-90 (Acabamento de cantos pencil)		T32_2x0.5_L30 - Fresa de navalhas	$S = 14000$ rpm $F = 400$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: Y-90

D.8.2 Palete 356 AP2 5P

Tabela D.16: Quadro resumo do processo de maquinagem dos postiços SA7994_102A, SA7994_102B - segundo aperto - 5 eixos posicionais.

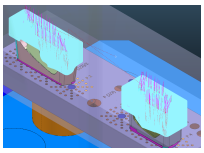
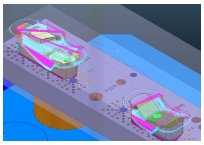
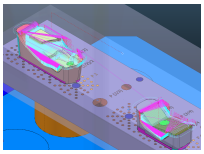
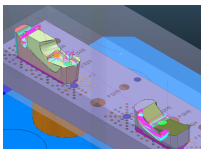
Ordem	Operação	Imagem	Ferramenta	Parâmetros de corte
1	Desbaste (Desbaste do modelo)		T7_20x2__L29 - Fresa de pastilhas	$S = 2200$ rpm $F = 5000$ mm/min $A_p = 0.2$ mm/passagem $A_e = 8.5$ mm Sobremetal(XY): 0.4 mm Sobremetal(Z): 0.4 mm Plano de trabalho: DMU60
2	Pré 20x2 (Acabamento Z constante)		T7_20x2__L29 - Fresa de pastilhas	$S = 2200$ rpm $F = 5000$ mm/min $A_p = 0.25$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0.25 mm Sobremetal(Z): 0.25 mm Plano de trabalho: DMU60
3	Pré 10x1 (Acabamento Z constante)		T13_10x1_L47 - Fresa de navalhas	$S = 7000$ rpm $F = 4000$ mm/min $A_p = 0.25$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0.25 mm Sobremetal(Z): 0.25 mm Plano de trabalho: DMU60
4	Redução Z Pré (Acabamento Z constante)		T25_4x1_L30 - Fresa de navalhas	$S = 12000$ rpm $F = 2500$ mm/min $A_p = 0.17$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0.15 mm Sobremetal(Z): 0.15 mm Plano de trabalho: DMU60
5	Pré Gravação (Acabamento raster)		T19_6x1_L30 - Fresa de navalhas	$S = 9000$ rpm $F = 2500$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = 0.23$ mm Sobremetal(XY): 0.15 mm Sobremetal(Z): 0.15 mm Plano de trabalho: DMU60

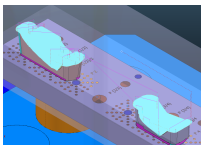
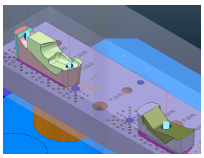
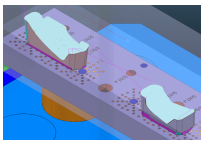
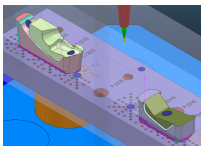
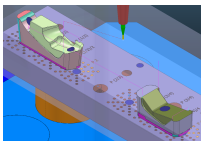
Ordem	Operação	Imagem	Ferramenta	Parâmetros de corte
6	Acabamento Gravação (Acabamento raster)		T23_4ESF_L31 - Fresa esférica	$S = 12000$ rpm $F = 2500$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = 0.14$ mm Sobremetal(XY): 0.05 mm Sobremetal(Z): 0.05 mm Plano de trabalho: DMU60
7	Furação Folga (Furação helicoidal)		T19_6x1_L30 - Fresa de navalhas	$S = 9000$ rpm $F = 1500$ mm/min Passo= 0.15 mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: DMU60
8	Pré Redução Z X-15 (Acabamento Z constante)		T32_2x0.5_L30 - Fresa de navalhas	$S = 14000$ rpm $F = 1000$ mm/min $A_p = 0.1$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0.12 mm Sobremetal(Z): 0.12 mm Plano de trabalho: X-15
9	Acabamento Redução Z X-15 (Acabamento Z constante)		T32_2x0.5_L30 - Fresa de navalhas	$S = 14000$ rpm $F = 1000$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = 0.099$ mm Sobremetal(XY): 0.05 mm Sobremetal(Z): 0.05 mm Plano de trabalho: X-15
10	Pencil Redução Z X-15 (Acabamento Z constante)		T32_2x0.5_L30 - Fresa de navalhas	$S = 14000$ rpm $F = 1000$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: X-15
11	Pré gravação CTZ Y-90 (Acabamento Z constante)		T19_6x1_L30 - Fresa de navalhas	$S = 9000$ rpm $F = 2500$ mm/min $A_p = 0.18$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0.2 mm Sobremetal(Z): 0.2 mm Plano de trabalho: Y-90
12	Pré gravação CP Y-90 (Acabamento raster)		T19_6x1_L30 - Fresa de navalhas	$S = 9000$ rpm $F = 2500$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = 0.25$ mm Sobremetal(XY): 0.15 mm Sobremetal(Z): 0.15 mm Plano de trabalho: Y-90

Ordem	Operação	Imagem	Ferramenta	Parâmetros de corte
13	Acabamento gravação Y-90 (Acabamento raster)		T29_3x0.5_L37 - Fresa de navalhas	$S = 14000$ rpm $F = 1500$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = 0.14$ mm Sobremetal(XY): 0.05 mm Sobremetal(Z): 0.05 mm Plano de trabalho: Y-90
14	Pencil gravação Y-90 (Acabamento de cantos pencil)		T29_3x0.5_L37 - Fresa de navalhas	$S = 14000$ rpm $F = 1500$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: Y-90

D.8.3 Palete 356 AP2 5C

Tabela D.17: Quadro resumo do processo de maquinagem dos postiços SA7994_102A, SA7994_102B - segundo aperto - 5 eixos contínuos.

Ordem	Operação	Imagem	Ferramenta	Parâmetros de corte
1	Desbaste (Desbaste do modelo)		T7_20x2__L29 - Fresa de pastilhas	$S = 2200$ rpm $F = 5000$ mm/min $A_p = 0.2$ mm/passagem $A_e = 8.5$ mm Sobremetal(XY): 0.4 mm Sobremetal(Z): 0.4 mm Plano de trabalho: DMU60
2	Pré 20x2 (Acabamento Z constante)		T7_20x2__L29 - Fresa de pastilhas	$S = 2200$ rpm $F = 5000$ mm/min $A_p = 0.25$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0.25 mm Sobremetal(Z): 0.25 mm Plano de trabalho: DMU60
3	Pré 10x1 (Acabamento Z constante)		T13_10x1_L47 - Fresa de navalhas	$S = 7000$ rpm $F = 4000$ mm/min $A_p = 0.25$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0.25 mm Sobremetal(Z): 0.25 mm Plano de trabalho: DMU60
4	Redução Z Pré (Acabamento Z constante)		T25_4x1_L30 - Fresa de navalhas	$S = 12000$ rpm $F = 2500$ mm/min $A_p = 0.17$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0.15 mm Sobremetal(Z): 0.15 mm Plano de trabalho: DMU60

Ordem	Operação	Imagem	Ferramenta	Parâmetros de corte
5	Pré Gravação (Acabamento raster)		T19_6x1_L30 - Fresa de navalhas	$S = 9000$ rpm $F = 2500$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = 0.23$ mm Sobremetal(XY): 0.15 mm Sobremetal(Z): 0.15 mm Plano de trabalho: DMU60
6	Furação Folga (Furação helicoidal)		T19_6x1_L30 - Fresa de navalhas	$S = 9000$ rpm $F = 1500$ mm/min Passo= 0.15 mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: DMU60
7	Acabamento Gravação (Acabamento raster)		T23_4ESF_L31 - Fresa esférica	$S = 12000$ rpm $F = 2500$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = 0.14$ mm Sobremetal(XY): 0.05 mm Sobremetal(Z): 0.05 mm Plano de trabalho: DMU60
8	Redução Raios Acabamento gravação (Acabamento 3D offset)		T30_2ESF_L28 - Fresa esférica	$S = 16000$ rpm $F = 1000$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = 0.09$ mm Sobremetal(XY): 0.02 mm Sobremetal(Z): 0.02 mm Plano de trabalho: DMU60
9	Pencil acabamento gravação (Acabamento de cantos pencil)		T30_2ESF_L28 - Fresa esférica	$S = 16000$ rpm $F = 1000$ mm/min $A_p = --$ mm/passagem $A_e = --$ mm Sobremetal(XY): 0 mm Sobremetal(Z): 0 mm Plano de trabalho: DMU60